

N° d'ordre : 17

# THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE CAEN

EN VUE DE L'OBTENTION DU TITRE DE

DOCTEUR ÈS-SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE CAEN

PAR

MERRY COHU

INGÉNIEUR DIPLOMÉ DE L'INSTITUT TECHNIQUE DE NORMANDIE

ET DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ DE PARIS

LICENCIÉ ÈS-SCIENCES

---

PREMIÈRE THÈSE

ÉTUDE

DE

**Quelques Propriétés Photométriques Caractéristiques**  
**de certains Verres Diffusants à faces parallèles**

---

DEUXIÈME THÈSE

**Propositions données par la Faculté**

---

*Soutenues le    Avril 1932 devant la Commission d'Examen*

---

|                    |            |
|--------------------|------------|
| MM. BLANC. . . . . | Président  |
| QUELET . . . . .   | Examineurs |
| LEROUX. . . . .    |            |

---

PARIS

IMPRIMERIE VENDOME-MARCEL SERVANT

338, Rue Saint-Honoré

—  
1932



N° d'ordre : 17

# THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE CAEN

EN VUE DE L'OBTENTION DU TITRE DE

DOCTEUR ÈS-SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE CAEN

PAR

MERRY COHU

INGÉNIEUR DIPLOMÉ DE L'INSTITUT TECHNIQUE DE NORMANDIE

ET DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ DE PARIS

LICENCIÉ ÈS-SCIENCES

---

PREMIÈRE THÈSE

ÉTUDE

DE

**Quelques Propriétés Photométriques Caractéristiques**

**de certains Verres Diffusants à faces parallèles**

---

DEUXIÈME THÈSE

**Propositions données par la Faculté**

---

*Soutenues le    Avril 1932 devant la Commission d'Examen*

---

|                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| MM. BLANC. . . . . | <i>Président</i>    |
| QUELET . . . . .   | } <i>Examineurs</i> |
| LEROUX. . . . .    |                     |

---

PARIS

IMPRIMERIE VENDOME-MARCEL SERVANT

338, Rue Saint-Honoré

—  
1932



A MONSIEUR DE VALBREUZE

*Administrateur-Délégué  
de la Société pour le Perfectionnement de l'Éclairage*

*Hommage de vive gratitude  
et de respectueux dévouement*

A MON MAITRE MONSIEUR A. BLANC

*Doyen de la Faculté des Sciences  
de l'Université de Caen*

*Hommage  
de profonde reconnaissance*

*Le présent travail a été entrepris initialement dans le but de déterminer, parmi les échantillons de verre qui servent communément à la fabrication de plaques diffusantes et d'appareils d'éclairage, quels étaient ceux dont les caractéristiques de transmission diffuse s'approchaient le plus de la diffusion théorique et, aussi, dans quelle mesure les différents procédés de dépolissage influençaient leurs propriétés diffusantes.*

*L'étude entreprise nous a amené à mettre au point une méthode rapide d'essais, permettant de tracer avec précision les indicatrices de transmission diffuse ; elle nous a conduit aussi à classer les différents types de verres de façon simple d'après leurs caractéristiques.*

*Nous tenons à remercier ici les personnes qui nous ont permis de mener à bien ce travail et parmi celles-ci :*

*M. de VALBREUZE, Administrateur Délégué de la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage qui nous a procuré les encouragements et les moyens d'essai, non seulement en mettant à notre disposition le Laboratoire de la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage et en nous laissant la plus large latitude pour l'exécution et la conduite*

*des recherches, mais encore en nous autorisant à construire un appareil spécial permettant d'effectuer différentes mesures sur les verres diffusants, et notamment le tracé des indicatrices des intensités lumineuses ou des brillances ;*

*Messieurs BLANC, Doyen de la Faculté des Sciences, Professeur de Physique, et ZORETTI, Directeur de l'Institut Technique, Professeur de Mécanique, dont les encouragements et la bienveillance nous ont permis de reprendre et de poursuivre des études scientifiques et techniques compromises par une interruption complète de 1915 à 1919 ;*

*enfin, ceux des ingénieurs de la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage qui nous ont aidé dans nos travaux et dans des essais souvent longs et minutieux.*

## FACULTÉ DES SCIENCES

---

Doyen : M. BLANC.

Assesseur : M. BIGOT, Correspondant de l'Académie des Sciences.

Professeurs honoraires :

M. LOUISE ;

M. MAURAIN, Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

---

M. BIGOT, Professeur (Géologie et Paléontologie).

M. ZORETTI, Professeur (Mécanique).

M. BLANC, Professeur (Physique et Minéralogie).

M. MERCIER, Professeur (Zoologie et Physiologie animale).

M. CHAUVENET, Professeur (Chimie).

M. JANET, Professeur (Calcul différentiel et intégral).

M. CHOUX, Professeur (Botanique).

M. AUDIGÉ, Professeur (Zoologie).

M. BOUYGUES, Professeur (Botanique).

M. QUELET, Maître de Conférences (Chimie).

M. BOGROS, Maître de Conférences (Physique).

M. ROUX, Secrétaire.

---

## TABLE DES MATIÈRES

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduction . . . . .                                                              | 9  |
| Etat actuel de la question des verres diffusants. . . . .                           | 12 |
| Points examinés antérieurement par différents auteurs. Programme d'essais . . . . . | 20 |
| Méthodes employées. Appareils utilisés. . . . .                                     | 31 |
| Résultats des essais . . . . .                                                      | 43 |
| Résumé et conclusions. . . . .                                                      | 74 |
| Bibliographie . . . . .                                                             | 77 |

---

*La Faculté n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses; ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.*

---

## INTRODUCTION

Les filaments de tungstène des lampes électriques à incandescence à atmosphère gazeuse actuellement utilisées sont portés à beaucoup plus haute température, lors du fonctionnement de la lampe, que n'étaient les filaments de tungstène des lampes à vide ou les filaments en carbone des premières lampes mises sur le marché.

Cette élévation de température se justifie par l'augmentation corrélative de l'énergie rayonnée par la lampe dans le spectre visible et par un accroissement relatif de son facteur d'efficacité, quotient du flux lumineux émis exprimé en lumens par la consommation exprimée en watts.

D'autre part, dans le but de diminuer les pertes de chaleur par conduction, les filaments des lampes à atmosphère gazeuse sont actuellement enroulés en hélice : par suite, l'énergie rayonnée par unité de surface apparente est beaucoup plus considérable que dans les lampes des anciens types ; il en résulte donc une augmentation de la brillance de la source qui rend (surtout pour les lampes d'une certaine puissance) le foyer lumineux inutilisable directement, en raison de l'éblouissement intense qu'il occasionne et qui annule les résultats obtenus à cause de la diminution consécutive des facultés visuelles.

Il existe dans le domaine de l'éclairage deux procédés pour diminuer l'éblouissement :

Le premier consiste à masquer la lampe à la vue directe au moyen d'un réflecteur, et à diriger son flux lumineux soit sur le plan d'utilisation, soit sur des surfaces réfléchissantes et diffusantes qui agiront comme sources secondaires et présenteront des brillances (c'est-à-dire des intensités lumineuses par unité de surface apparente) beaucoup plus faibles ; le second procédé consiste à entourer la source d'une matière à travers laquelle la lumière sera diffusée et présentera une diminution des brillances.

Le développement actuel de l'éclairage, ainsi que les perfectionnements apportés à la production des matières diffusant par transmission, sont tels que la diffusion par transmission est actuellement le procédé de diffusion le plus répandu ; soit qu'il s'agisse de l'établissement d'appareils d'éclairage strictement utilitaires destinés à l'éclairage des bureaux, locaux d'habitation, etc., soit que l'on utilise les matériaux diffusants pour la réalisation d'ensembles décoratifs dans lesquels on rencontre des formes de diffuseurs des plus variées, plan, sphère, cylindre, cône etc.

Dans ces dernières années, on a fait subir aux verres diffusants différents traitements mécaniques et chimiques destinés surtout à modifier leur aspect extérieur, sans souvent bien se rendre compte dans quel sens la nature du traitement influençait les propriétés optiques et diffusantes

des échantillons considérés. Il nous a par suite paru intéressant de rechercher pour les verres les plus employés, quelle était l'influence du traitement mécanique et chimique sur les propriétés de ces verres.

Nous nous sommes donc proposé d'abord de déterminer l'influence des traitements mécaniques et chimiques sur les verres les plus utilisés en éclairage en ce qui concerne principalement la transmission directe et la diffusion.

D'autre part, la lumière émise par les sources lumineuses placées derrière les surfaces diffusantes atteignant généralement ces surfaces sous une incidence oblique, il nous a paru intéressant de rechercher quelle était l'influence de l'obliquité du faisceau sur la diffusion.

Nous avons divisé notre travail en cinq parties :

Dans la première partie nous examinerons l'état actuel de la question des verres diffusants ;

dans la deuxième partie nous donnerons un aperçu des travaux de différents auteurs et exposerons les divers essais que nous nous sommes proposé d'effectuer ;

la troisième partie sera consacrée à la description des méthodes employées et aux appareils utilisés pour les mesures ;

dans la quatrième partie seront donnés les courbes et les résultats obtenus ;

la cinquième partie sera consacrée aux conclusions que nous ont suggéré les recherches.

# I

## ETAT DE LA QUESTION DES VERRES DIFFUSANTS

---

Nous rappellerons d'abord que l'on entend par diffusion le phénomène qui se produit lorsqu'un faisceau lumineux parallèle rencontre une surface qui le réfléchit (diffusion par réflexion) ou qui se laisse traverser par les rayons (diffusion par transmission) en modifiant dans les deux cas le parallélisme du faisceau.

Dans le premier cas, une certaine partie ou la totalité des rayons est déviée par rapport à la direction de réflexion régulière. Dans le deuxième cas, une partie ou la totalité des rayons est déviée par rapport à la direction d'incidence.

Nous nous occuperons uniquement dans ce travail de la diffusion par transmission, c'est-à-dire de celle qui se produit lorsque la lumière traverse des milieux troubles et en particulier certains verres. Les verres qui donnent lieu à ce phénomène peuvent être divisés en deux classes principales :

1<sup>o</sup>) les verres dits « opalins » dans lesquels la diffusion a lieu dans la masse du verre ;

2<sup>o</sup>) les verres transparents rendus diffusants au moyen d'un dépolissage chimique ou mécanique de l'une ou des deux faces pour lesquels la diffusion se produit à la surface du verre.

Il existe de plus des combinaisons des deux types précédents : citons entre autres les verres opalins dépolis et verres clairs recouverts d'une couche opaline diffusante.

Les différents auteurs considèrent habituellement le verre comme une solution solide qui est en fait à l'état liquide mais possède une viscosité extrême.

### 1° VERRES OPALINS.

De même que les solutions peuvent être saturées à une certaine température et devenir sur-saturées lors du refroidissement avec séparation consécutive de certains constituants, certains verres peuvent être soumis à un refroidissement tel que leurs composants : chlorures, sulfates, phosphates, peuvent se séparer dans la masse.

L'agent de précipitation le plus fréquemment utilisé est la cryolithe  $\text{Na}^2 \text{Al F}^6$ . Ces précipitations ont lieu le plus souvent sous forme de sphérules de différents diamètres dont l'indice de réfraction est différent de celui du milieu dans lequel elles sont plongées. Il s'ensuivra qu'un faisceau lumineux de rayons parallèles rencontrant un tel verre verra ses rayons dévier chaque fois qu'ils rencontreront une de ces particules et qu'à la sortie de la lame de verre se produira une diffusion plus ou moins parfaite qui dépendra :

- 1°) de la quantité de matière séparée ;
- 2°) des dimensions des particules ;
- 3°) de la différence des indices de réfraction

entre les particules et la masse qui les contient.

Ces différents facteurs dépendent eux-mêmes du traitement subi par le verre.

HYSLOP (J.S.G.T. 1927 2 —362) a trouvé pour différentes températures de recuit les résultats suivants :

| Température de recuit | Diamètre moyen<br>des particules<br>en microns |
|-----------------------|------------------------------------------------|
| —                     | —                                              |
| 700° (degrés cent.)   | 0,17 $\mu$                                     |
| 800°                  | 0,33                                           |
| 900°                  | 1,00                                           |
| 1.000°                | 3,00                                           |

Au-dessus de 1.000 à 1.200°, les particules deviennent à nouveau plus petites et prennent des formes cristallines. Ce phénomène permet d'expliquer pourquoi les verres opalins peu denses laissent apercevoir une image rougeâtre nette du filament des lampes à incandescence et présentent sur le reste de la surface une teinte bleuâtre plus accusée que celle des verres opalins denses. En effet les verres recuits à 800° par exemple possédant des particules d'un diamètre moyen de 0,33 micron laisseront passer sans les diffuser les radiations des grandes longueurs d'onde et transmettront une image nette et rougeâtre du filament. Ils diffuseront au contraire les radiations de petites longueurs d'onde et présenteront une teinte bleuâtre.

La déviation des rayons lumineux dépendant des différences d'indice de réfraction sera d'autant plus importante que cette différence sera grande. Suivant que l'indice de réfraction des sphérules est plus grand ou plus petit que celui de la matière qui les contient, cette différence sera positive ou négative. La théorie complète de la diffusion d'ondes lumineuses sur une simple particule sphérique transparente est extrêmement complexe. Le problème a été examiné notamment par MIE (*Annalen der Physik* 1908, Vol. 25, p. 377) qui a étudié la distribution lumineuse dans le cas de particules de toutes dimensions et d'indices différents pour de la lumière incidente de diverses longueurs d'onde. L'application de la théorie de MIE a été entreprise par M. SHOU-LEIJKIN (*Philosophical Magazine*, Vol. 48, p. 307). Il est malheureusement difficile de tirer des conclusions pratiques de ces études théoriques. MIE a montré que, lorsque ces particules augmentent de dimension, la lumière diffusée dans la direction du faisceau incident devient, pour une particule donnée, beaucoup plus importante que celle diffusée dans la direction inverse. L'équation de la courbe polaire de répartition des intensités devient très compliquée, même lorsqu'on ne tient pas compte de la lumière provenant des particules voisines. En plus de la différence des indices, la grandeur absolue de l'indice du milieu joue aussi un rôle, car le rayonnement sortant d'un corps éclairé de tous côtés est proportionnel au carré de l'indice de réfraction

du milieu ; donc, un verre possédant un grand indice de réfraction pourra s'approcher de la diffusion complète.

Un faisceau de lumière parallèle tombant normalement sur une surface plane opaline subira une réduction d'intensité due à la réfraction et à l'absorption de la lumière par les particules du milieu qui les contient. La diminution d'intensité suivra une loi exponentielle dépendant de l'épaisseur.

Si  $I_0$  est l'intensité du faisceau incident, l'intensité du faisceau parallèle non diffusé sera donnée par l'expression :

$$I = I_0 e^{-(Nq + \mu) d}$$

expression dans laquelle  $q$  est le coefficient de diffusion,  $\mu$  le coefficient d'absorption,  $N$  le nombre de particules par unité de volume et  $d$  l'épaisseur du milieu.

La diffusion de la lumière dépend aussi de la longueur d'onde  $\lambda$ , elle est approximativement proportionnelle à l'inverse de  $\lambda^n$ . L'exposant  $n$  dépend des dimensions des particules. On a trouvé expérimentalement que pour de petites particules  $n = 4$  environ. La valeur de cet exposant décroît lorsque les dimensions des particules augmentent.

Pour la plupart des verres opalins, l'indice  $n$  est voisin de 2 pour des particules comprises entre 0,4 micron et 1 micron ; mais lorsque les dimensions des particules augmentent  $n$  diminue jusqu'à atteindre 0,2. On peut poser que le coefficient de diffusion  $q$  est égal à  $\frac{b}{\lambda^n}$

$b$  et  $n$  étant fonction de la dimension des particules de l'indice de réfraction de celles-ci et de la masse dans laquelle elles sont plongées. Cette valeur de  $q$  donne pour l'intensité du faisceau non diffusé l'expression :

$$I = I_0 e^{-\left(\frac{Nb}{\lambda^n} + \mu\right)d}$$

qui montre que si  $n$  est nul, la diffusion est indépendante de la longueur d'onde. Le verre sera neutre, c'est-à-dire absorbera toutes les radiations dans le même rapport. Si  $n$  est positif le milieu est plus absorbant pour les petites longueurs d'onde, la lumière bleue sera plus diffusée que la lumière rouge, et inversement dans le cas contraire. On peut admettre que les phénomènes de diffusion des verres opalins sont dus à la diffraction si la dimension des particules est inférieure à la longueur d'onde et à la réflexion ou réfraction dans le cas contraire.

L'absorption des verres opalins pour les radiations de grandes longueurs d'onde, se rapproche en général fortement de l'absorption des verres clairs ordinaires.

## 2° VERRES TRANSPARENTS DÉPOLIS MÉCANIQUEMENT OU CHIMIQUEMENT.

À côté des verres opalins diffusants dans la masse, il existe une autre catégorie de verres diffusants dont les propriétés sont obtenues par des moyens mécaniques ou chimiques.

a) *Verres diffusants obtenus par des moyens mécaniques.*

Le dépolissage des verres par des moyens mécaniques consiste à créer sur leur face des irrégularités qui présentent à la lumière des orientations différentes et occasionnent une succession de réfractions qui finalement produisent la diffusion.

Le dépolissage est en général obtenu par projection d'un jet de sable fin dont les grains viennent bombarder la surface et occasionnent la formation de facettes. Le degré de dépolissage dépendra naturellement de la qualité du sable choisi, de la pression du jet, de la durée d'attaque et de la nature du verre. Ainsi un verre de quartz pur sera très difficilement dépoli au sable alors que d'autres verres plus friables se dépoliront facilement.

On peut encore faire entrer dans la même catégorie de dépolissage le dépolissage obtenu par projection d'eau chaude sur la surface du verre ; les molécules d'eau déterminent de légères rugosités sur la surface qui devient susceptible de diffuser les rayons lumineux par réfraction. Le dépolissage obtenu dans ce cas est généralement plus fin que le dépolissage au sable mais son obtention exige un temps plus long.

b) *Dépolissage obtenu par des moyens chimiques.*

Nous laisserons de côté les procédés de diffusion obtenus en projetant sur la surface du verre un enduit généralement à base de silicate qui forme sur la surface du verre une mince couche translucide susceptible de faire dévier les rayons lumineux. Ce système de dépolissage offre

en effet de multiples inconvénients, notamment celui de présenter, toutes choses égales, une absorption en général plus élevée que le dépolissage au sable ou à l'acide.

Nous examinerons seulement le dépolissage chimique obtenu au moyen d'acides tels que les solutions d'acide fluorhydrique, de fluorure d'ammonium, de fluorure de potassium, etc.

La caractéristique principale de ce genre de dépolissage est l'obtention de verres pratiquement neutres, c'est-à-dire diffusants également la lumière de toutes les longueurs d'onde, si bien que, quelle que soit l'importance du dépolissage, on n'obtient jamais de transmission directe comme dans les verres opalins ; en d'autres termes le phénomène que présentent certains verres opalins de laisser apercevoir un contour net du filament ne se produira pas avec ce genre de dépolissage. Etant donné, d'autre part, que les verres dépolis au sable, ou à l'acide, présentent seulement le phénomène de diffusion sur leur surface extérieure, on pourra s'attendre à ce que l'absorption de ces verres soit moindre que celle de verres opalins ; enfin, pour la même raison on pourra aussi s'attendre à une diffusion moins bonne que pour les verres précédents.

---

## II

### POINTS EXAMINÉS ANTÉRIEUREMENT PAR DIFFÉRENTS AUTEURS & PROGRAMME D'ESSAIS.

---

On s'est tout d'abord préoccupé de déterminer les caractéristiques des verres diffusants qui permettent de mettre en évidence leurs propriétés lumineuses.

A cet effet, on a tout d'abord songé à caractériser un échantillon donné par son coefficient d'absorption, son coefficient de transmission et son coefficient de réflexion en lumière parallèle ou diffuse. Ces mesures s'effectuent de façon relativement aisée au moyen d'intégrateurs sphériques possédant une ouverture auxiliaire qui permet d'éclairer l'intérieur au moyen d'un faisceau lumineux en lumière parallèle ou diffuse, avec ou sans interposition de l'échantillon. Nous n'insisterons pas sur les différents procédés employés qui sont actuellement classiques, car si les chiffres obtenus présentent un certain intérêt, ils ne caractérisent nullement l'échantillon au point de vue de la diffusion.

D'autre part, il est nécessaire pour beaucoup de verres, et notamment les verres opalins peu épais, de faire la distinction entre la transmission directe et la transmission dirigée.

Par lumière directement transmise nous entendons la portion de la lumière pour laquelle la loi de variation de l'éclairement en raison inverse du carré de la distance est valable à partir de la source. Donc, la lumière qui n'a subi aucune déviation due à la réfraction ou à la diffraction sera dite transmise directement. Par lumière diffusée on entendra celle pour laquelle la loi de l'inverse du carré est valable à partir de la surface de l'échantillon. Cela revient à considérer dans ce deuxième cas la lumière qui a été déviée en traversant le verre.

En ce qui concerne l'absorption des verres opalins, on ne peut, qu'avec beaucoup de difficultés, faire des mesures systématiques sur des échantillons dont on fera varier le diamètre des sphérules ou l'indice de réfraction de la matière de façon à trouver une loi continue qui exprime les propriétés du verre, étant donné la quasi impossibilité de reproduire identiquement un type de verre donné.

Certains auteurs se sont donc proposé d'étudier les lois d'absorption et de diffusion des milieux troubles en utilisant non pas des verres opalins mais des milieux troubles obtenus artificiellement tels que des émulsions dont on pourrait faire varier la dimension des particules et la concentration. A cet effet, ils ont créé de tels milieux par des moyens différents, par exemple au moyen d'une solution d'huile de paraffine en suspension dans de l'eau (LAX PIRANI & SCHÖNBORN) préparée au préalable au moyen d'une solution d'huile de

paraffine dans 96 % d'alcool. Le rapport de la quantité d'eau à celle de la solution détermine la dimension des particules qui sont d'autant plus petites que la proportion d'eau est plus grande.

D'autres auteurs (J. W. RYDE & D. J. YATES) utilisèrent un milieu trouble réalisé au moyen de schellak qui fournissait des particules de 0,3 mm de diamètre.

M. BOUTARIC a employé une solution de chlorure d'argent en suspension dans l'eau pure, il a en particulier vérifié la loi de Lord RAYLEIGH reliant l'intensité  $I$  de la lumière transmise à l'intensité  $I_0$  de la lumière incidente pour un milieu dont les particules ont des dimensions négligeables devant les longueurs d'onde.

$$I = I_0 e^{-\frac{Kx}{\lambda^n}}$$

Le coefficient  $n$  varie d'environ 2 à 3,5 suivant les dimensions des granules du précipité. Lord RAYLEIGH avait d'ailleurs trouvé pour un nombre de particules par unité de volume inférieur aux précédents, c'est-à-dire pour une absorption très faible :  $n = 4$  ; MM. CHENEVEAU & AUDUBERT ont établi que pour les milieux troubles à particules assez grosses le coefficient  $n$  est de la forme :

$$n = A f(N, d)$$

$A$  étant un coefficient dépendant des propriétés optiques des sphérules et de la masse qui les contient ;  $d$  étant le diamètre des particules et  $N$  étant le nombre des particules par unité de volume. MM. LAX, PIRANI & SCHÖNBORN ont

étudié de plus la variation du facteur de transmission totale des milieux troubles en fonction du nombre relatif des particules par unité de volume, ainsi que la répartition des brillances de la lumière diffusée en fonction de l'angle d'observation.

A la suite de leurs essais, ces auteurs ont proposé une classification des verres opalins basée sur leur transmission et la plus ou moins grande régularité de la répartition des brillances ; ils envisagent à cet effet de considérer le quotient du flux directement transmis au flux total ainsi que la brillance relative sous une incidence de  $45^{\circ}$ . Ils ont de plus proposé de diviser ces verres en un certain nombre de classes correspondant à différents degrés de transmission directe et totale.

D'autres auteurs ont proposé des classifications des verres diffusants basées sur la plus ou moins grande visibilité du filament d'une lampe à incandescence regardé à travers le verre. Cette classification suppose que la majorité des verres diffusants possède une valeur élevée de la transmission directe ; or, dans la technique actuelle de l'éclairage, on utilise presque exclusivement des verres diffusants pour lesquels l'image du filament des lampes est à peu près totalement invisible. Il nous paraît donc difficile de caractériser la diffusion de ces verres par la méthode précédente. D'autre part, comme nous l'avons dit, les valeurs des différents coefficients de réflexion (directe et diffusée), transmission (directe et diffusée), absorption, ne donnent aucun renseigne-

ment précis sur les propriétés diffusantes du verre. Il nous a donc semblé qu'il fallait, pour caractériser complètement la diffusion d'un échantillon, étudier les courbes de répartition des intensités lumineuses de chacun d'eux, autrement dit, les courbes indicatrices et synthétiser les résultats dans une expression simple. Nous rappellerons que pour un diffuseur parfait, c'est-à-dire un diffuseur pour lequel la brillance est constante et indépendante de la direction, l'indicatrice de diffusion répondant à la loi de LAMBERT est un cercle tangent à la surface ayant pour diamètre la valeur de l'intensité maximum. L'indicatrice de diffusion permet de se rendre compte de façon à peu près complète des caractéristiques de l'échantillon, mais son emploi est assez incommode dans la pratique. En effet, dans le cas d'échantillons à faible pouvoir diffusant, l'indicatrice tracée en coordonnées polaires sera une courbe dont les deux tangentes à l'origine feront un angle très aigu et sur laquelle il sera difficile de relever les valeurs de l'intensité lumineuse, si on le désire ; d'autre part, l'angle formé par ces deux tangentes donne une idée fausse du flux compris à l'intérieur du cône qu'elles délimitent car l'ouverture de ce cône n'est pas proportionnelle au flux. C'est pourquoi certains auteurs ont proposé de caractériser la diffusion par la valeur de l'intensité lumineuse sous un angle de  $60^{\circ}$ . Cet angle de  $60^{\circ}$  a été choisi en se basant sur le fait que pour un diffuseur parfait la valeur de l'intensité lumineuse dans cette

direction est égale à la moitié de l'intensité lumineuse maximum. D'autres auteurs ont proposé pour caractériser la diffusion d'un échantillon de prendre le rapport de la brillance minimum sur les bords d'une surface hémisphérique réalisée au moyen de ce diffuseur et de la brillance maximum au centre de cette même surface.

Cette méthode nous paraît encore moins satisfaisante que la précédente, car elle nécessite des mesures sur des échantillons en forme de coupelles qui donneront des résultats différents de ceux fournis par les échantillons plans ainsi que les essais précédents nous l'ont montré.

ANGSTRÖM, remarquant que la majorité des formes de courbes de diffuseurs imparfaits s'approchait de celle de l'ellipse, proposa de prendre comme critérium le rapport  $\mu = \frac{a}{b}$  du demi grand axe au demi petit axe de l'ellipse correspondant à l'indicatrice de diffusion.

Par suite, pour la diffusion parfaite  $\mu = 1$  (indicatrice circulaire). Le coefficient  $\mu$  sera d'autant plus grand que la diffusion sera moins parfaite. Ce coefficient nous paraît intéressant à considérer car nous avons vérifié que la majorité des courbes de diffusion possède effectivement une forme sensiblement elliptique.

On a proposé de représenter l'indicatrice de diffusion par une fonction de la forme

$$I_{\alpha} = I_m \cos^n \alpha$$

( $I_m$  étant la valeur de l'intensité maximum et  $I_\alpha$  celle de l'intensité correspondant à un angle  $\alpha$ ) et de prendre l'exposant  $n$  comme caractérisant la diffusion du verre.

En fait, certaines courbes de diffusion s'éloignent notablement de la forme indiquée par cette fonction. Les coefficients  $n$  calculés en partant de courbes tracées expérimentalement ont conduit à des tracés qui ne coïncidaient pas de façon précise avec la courbe réelle. Il paraît nécessaire dans l'étude des verres diffusants, de pouvoir caractériser leurs propriétés d'une façon élémentaire : d'une part au moyen d'un coefficient résumant globalement ces propriétés et d'autre part au moyen de courbes aussi simples que possible. C'est pourquoi nous avons choisi dans ce travail la représentation du Dr. HALBERTSMA que nous décrivons brièvement ci-après.

Si l'on suppose que pour un verre diffusant on ait tracé le diagramme de ROUSSEAU correspondant à un diffuseur parfait qui aurait même intensité maximum que l'échantillon considéré et si les ordonnées du diagramme sont choisies comme étant des longueurs proportionnelles au cosinus des angles correspondants, la surface représentative du flux lumineux sera un triangle rectangle. Si l'on trace avec les mêmes ordonnées, le diagramme de ROUSSEAU correspondant à l'échantillon considéré, on obtiendra une surface limitée d'une part par les deux axes de coordonnées, et d'autre part une courbe aboutissant aux deux points situés aux sommets du triangle opposé

à l'angle droit. L'aire de cette surface représentera le flux lumineux diffusé par l'échantillon. Le coefficient  $\sigma$ , rapport des aires de la deuxième surface à la première, caractérisera avec la courbe indicatrice la diffusion de l'échantillon de façon complète, pour la diffusion parfaite on aura  $\sigma = 1$ , pour une diffusion nulle on aura  $\sigma = 0$ .

Le facteur de diffusion se trouvant compris entre 0 et 1, la diffusion sera d'autant plus élevée que  $\sigma$  sera voisin de 1. Remarquons que les expressions précédemment indiquées permettent de calculer directement le coefficient  $\sigma$  sans avoir besoin de tracer les diagrammes de flux ni même de connaître complètement les indicatrices de diffusion.

Si on considère l'expression de l'intensité lumineuse  $I$  pour différents angles dans le cas de la diffusion parfaite, on a :

$$I_{\alpha} = I_m \cos \alpha$$

et pour la diffusion imparfaite

$$I'_{\alpha} = I_m \cos^n \alpha$$

en supposant que cette expression représente l'équation de la courbe de diffusion.

Le rapport des deux flux sera donc :

$$\sigma = \frac{\int I_{\alpha} d\omega}{\int I'_{\alpha} d\omega} = \frac{\int_0^{\frac{\pi}{2}} I_m \cos \alpha \sin \alpha d\alpha}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} I_m \cos^n \alpha \sin \alpha d\alpha}$$

car

$$d\omega = 2\pi \sin \alpha d\alpha$$

d'où

$$\sigma = \frac{2}{n+1}$$

et en supposant que l'indicatrice de diffusion soit une ellipse on trouve :

$$I_{\alpha} = I \max \frac{\cos \alpha}{1 + (\mu^2 - 1) \sin^2 \alpha}$$

en appelant comme précédemment  $\mu$  le rapport  $\frac{a}{b}$  du demi grand axe au demi petit axe.

$$\sigma = \frac{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos \alpha \sin \alpha d\alpha}{1 + (\mu^2 - 1) \sin^2 \alpha}}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \alpha \sin \alpha d\alpha}$$

d'où

$$\sigma = \frac{2}{\mu^2 - 1} \log \mu$$

Nous avons vérifié incidemment pour les différentes expressions de  $\sigma$  déterminées par planimétrage des surfaces l'exactitude des formules précédentes. Les résultats seront indiqués plus loin.

Nous nous sommes proposé d'étudier l'influence du dépolissage au sable et à l'acide sur les verres clairs, les verres opalins plaqués (c'est-à-dire formés d'une mince couche opaline adhérent à une couche de verre clair), et les verres opalins massifs, c'est-à-dire d'une épaisseur supérieure à 1 mm et n'ayant pas de support en verre clair, et à cet effet, de rechercher, pour un dépo-

lissage effectué seulement sur une des faces, si l'absorption et la diffusion se trouvaient modifiées lorsqu'on tournait vers la source lumineuse le côté lisse ou le côté dépoli.

D'autre part, les mesures exécutées jusqu'ici ayant trait surtout à l'incidence normale des rayons lumineux, nous nous sommes proposé de rechercher quelle était l'influence de l'obliquité du faisceau sur la forme de l'indicatrice de diffusion.

Enfin, en dernier lieu, nous avons cherché à déterminer quelle pouvait être l'influence de la durée du dépolissage au sable ou à l'acide sur le facteur de transmission totale.

Ces essais devant nécessiter le tracé d'un grand nombre d'indicatrices de diffusion avec la plus grande exactitude possible, chacune de ces courbes devant par suite comporter un nombre de points assez élevé, il fallait trouver une méthode rapide qui permette sans fatigue un tracé suffisamment exact de ces indicatrices.

Le tracé photométrique d'une indicatrice de diffusion par les procédés de photométrie visuelle présente une incertitude due à la variation d'état de l'œil de l'observateur, variation qui, comme on le sait, peut se décomposer en deux parties : d'une part une variation lente due à l'évolution de la vision de l'individu, d'autre part, une variation rapide au cours d'une série d'essais.

Afin d'éliminer ces causes d'erreurs, nous avons pu avec succès utiliser, après sélection, des cellules photoélectriques.

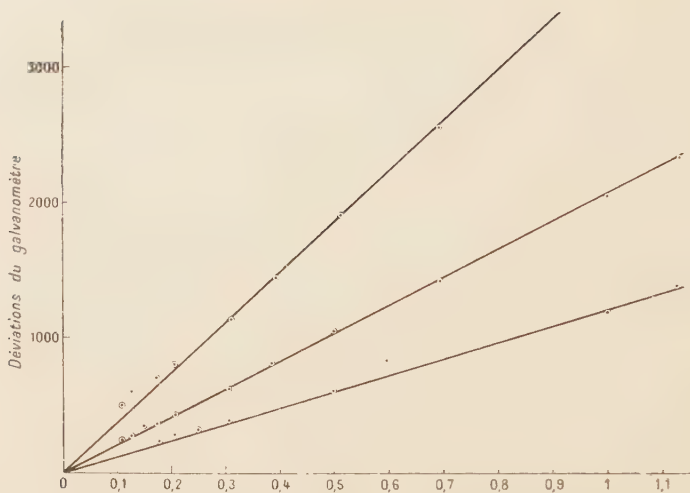


Fig. 1. — Courbes d'étalonnage d'une cellule à couche d'oxyde sans potentiel accélérateur.

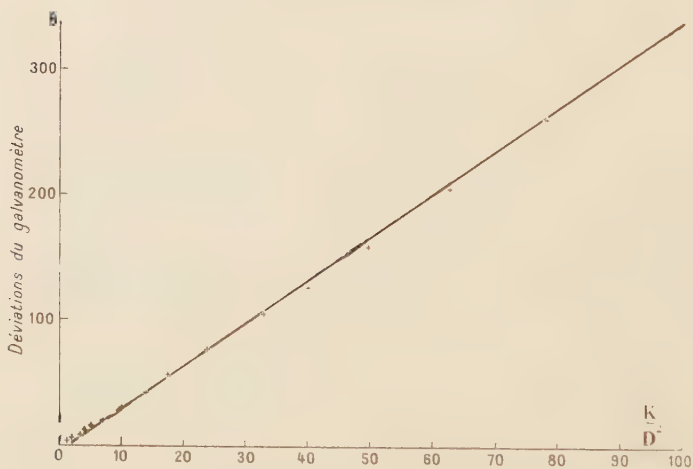


Fig. 2. — Courbe d'étalonnage d'une cellule au potassium. Potentiel accélérateur 122 volts.

### III

## DESCRIPTION DES MÉTHODES EMPLOYÉES ET DES APPAREILS UTILISÉS POUR LES MESURES

---

### ESSAIS PRÉLIMINAIRES.

Afin de tracer sans difficulté les indicatrices de diffusion au moyen de cellules, il nous fallait trouver une cellule possédant un courant d'obscurité aussi faible que possible et dont les déviations présentent une proportionnalité satisfaisante au flux lumineux incident. D'autre part, il était désirable, pour conserver à cette proportionnalité une valeur suffisamment rigoureuse, que les cellules pussent débiter un courant assez important afin de pouvoir fournir des déviations notables avec un galvanomètre sensible, ceci de façon à éviter l'emploi d'un système amplificateur qui aurait faussé les résultats. Le galvanomètre adopté fut, en l'espèce, un appareil construit par la Société des Ouvriers en Instruments de Précision, possédant une constante de  $4 \times 10^{-10}$  ampères, avec un rayon de courbure de miroir de 1 m. 27 et une résistance d'amortissement critique de 60.000 ohms.

Dans le but de déterminer dans quelle mesure on pouvait admettre la proportionnalité du cou-

rant photoélectrique au flux, nous avons étudié au préalable trois cellules différentes :

la première était une cellule à oxyde de cuivre de la S. R. P. I. ;

la deuxième au potassium de la S. R. P. I. ;

la troisième au caesium de la Société La Radiotechnique.

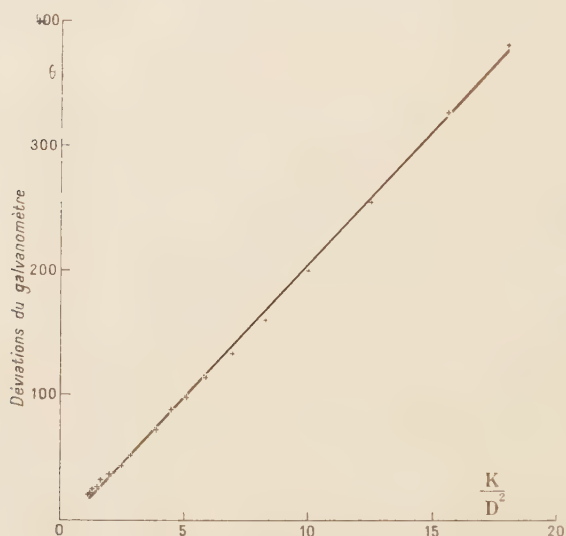


Fig. 3. — Courbe d'étalonnage d'une cellule au caesium.  
Potentiel accélérateur 30 volts.

La cellule à oxyde offrait l'avantage d'éviter l'emploi de batteries d'accumulateurs pour l'obtention d'une tension d'ionisation mais présentait par contre, malgré une proportionnalité très suffisante (fig. 1), le grand inconvénient de n'atteindre sa position d'équilibre qu'au bout d'un temps relativement long à cause de la

résistance du galvanomètre et le relevé de chaque point d'une courbe nécessitait un temps inadmissible pour des mesures rapides.

La cellule au potassium de la S. R. P. I. présentait une proportionnalité du même ordre avec un courant d'obscurité extrêmement faible (fig. 2).

La cellule de la Société La Radiotechnique présentait une proportionnalité suffisante d'un bout à l'autre de l'échelle, l'écart maximum étant seulement de 2,3 % (fig. 3), mais offrait l'inconvénient d'un manque de stabilité assez grand par suite de la présence d'un courant d'obscurité assez important et relativement variable.

Dans ces conditions, nous avons arrêté notre choix sur la cellule au potassium.

Le montage adopté était des plus simples. La cellule était montée en série avec la batterie d'accumulateurs et le galvanomètre shunté sur sa résistance d'amortissement critique était protégé contre l'illumination possible au moyen d'une résistance en carbone d'une valeur de 200.000 ohms insérée dans le circuit. La cellule soigneusement isolée, était placée dans une boîte (fig. 4) opaque à la lumière fixée sur un chariot photométrique pouvant se déplacer sur le banc ; les connexions étaient réalisées au moyen de ressorts à boudin souples permettant de conserver une tension suffisante des conducteurs et de déplacer néanmoins la boîte. La valeur du flux lumineux tombant sur la fenêtre de la cellule pouvait être réglée au moyen d'un diaphragme. La posi-

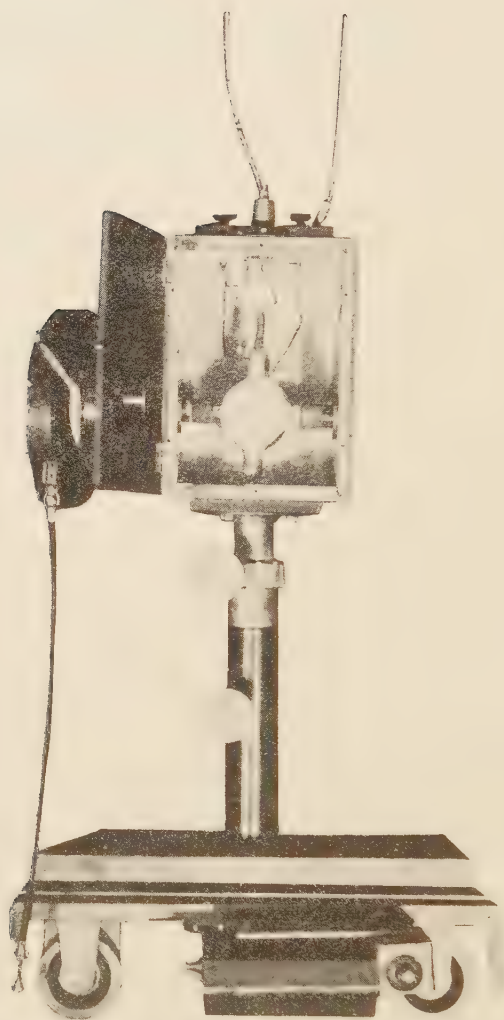


Fig. 4. — Vue de la cellule et de son chariot.  
A gauche la porte du coffret ouverte, l'obturateur et le diaphragme.

tion de la boîte de la cellule sur un chariot permettait d'autre part de la rapprocher ou de l'éloigner de l'échantillon de verre diffusant et de modifier ainsi la sensibilité. De cette façon on pouvait, après quelques tâtonnements, régler l'ensemble pour que la déviation maximum de l'échelle du galvanomètre soit obtenue pour la valeur maximum de l'intensité lumineuse d'une indicatrice donnée.

Les mesures que nous avons effectuées étant des mesures relatives, il n'était pas besoin au préalable d'étalonner la cellule ; il aurait d'ailleurs été des plus simples de mesurer l'éclairement reçu par le diaphragme d'entrée en substituant un photomètre à la cellule.

En ce qui concerne l'orientation proprement dite des échantillons de verre pour le tracé des indicatrices, nous avons fait construire un appareil permettant de donner à un échantillon toutes les orientations possibles par rapport au plan du diaphragme de la cellule. Cet appareil comporte d'une part un petit projecteur susceptible de diriger un faisceau lumineux sur l'échantillon à essayer, et d'autre part un dispositif permettant de modifier l'orientation de l'échantillon afin de permettre la mesure facile des intensités. Il nous a paru beaucoup plus rationnel en effet de rendre la cellule immobile et le projecteur et l'échantillon mobiles, plutôt que de réaliser le montage inverse, les cellules étant généralement fragiles et difficiles à orienter aisément à cause de leurs connexions (fig. 5).

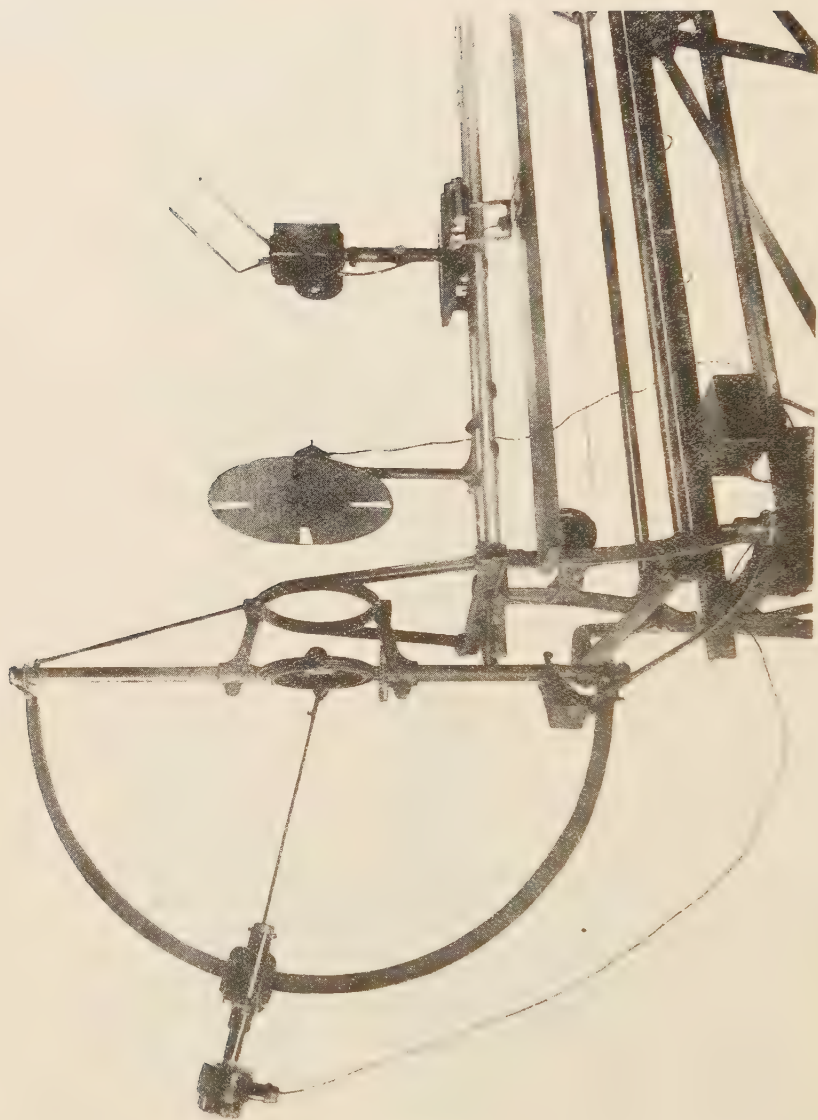


Fig. 5.

Vue d'ensemble de l'appareil destiné au tracé des indicatrices, monté à l'extrémité du banc photométrique, et de la boîte de la cellule sur son chariot.

L'appareil réalisé se compose d'un demi-cercle d'un mètre de diamètre (fig. 6) mobile

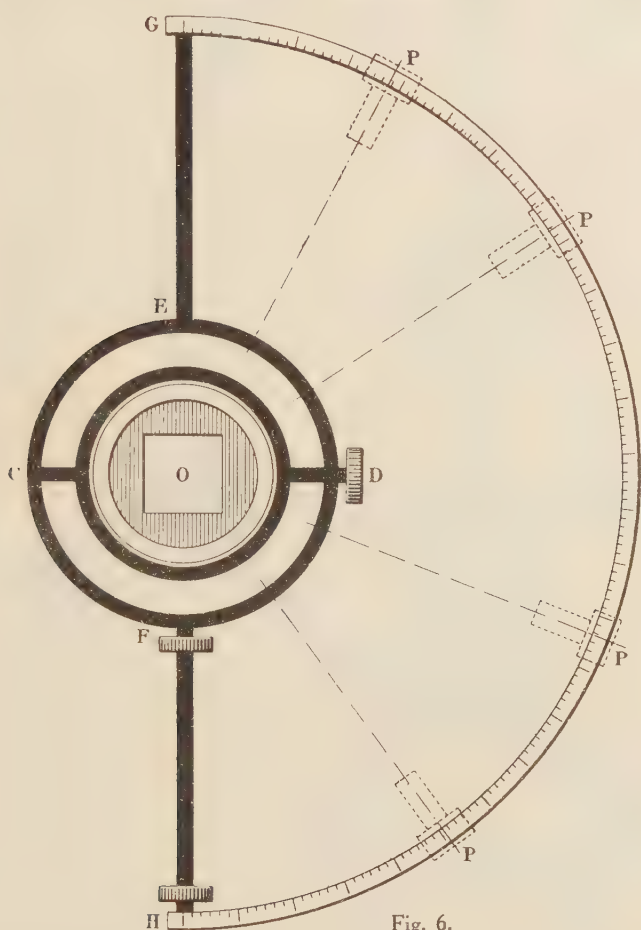


Fig. 6.

autour d'un axe vertical GH. Sur ce demi-cercle peut se déplacer un patin portant le projecteur P

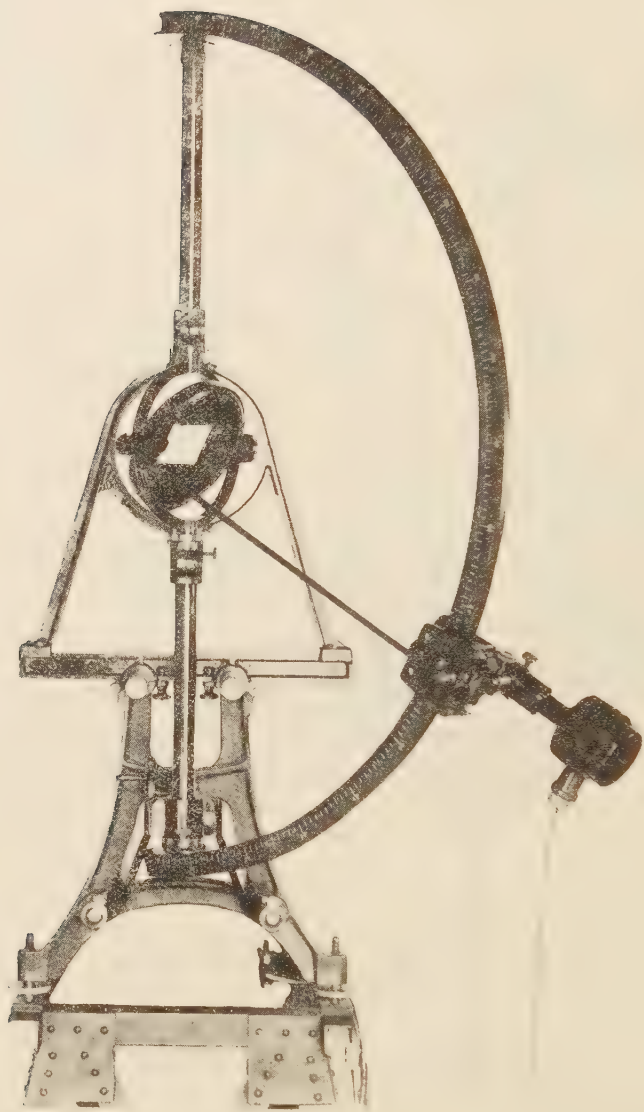


Fig. 7.  
Vue de l'appareil suivant l'axe photométrique.

dont l'emplacement peut être repéré au moyen d'une graduation en degrés. Sur le diamètre du demi-cercle peut pivoter un autre cercle CEDF mobile autour du même axe et dont le plan vertical peut faire un angle quelconque avec le plan vertical du demi-cercle.

Le cercle CEDF porte lui-même deux tou-rillons horizontaux CD supportant un nouveau cercle O qui peut occuper toutes les positions autour de l'axe horizontal CD. C'est à ce dernier cercle qu'est fixé l'échantillon. Le support de l'échantillon est, de plus, mobile dans son plan autour du centre du cercle.

Grâce à cette disposition, la normale au plan de l'échantillon de verre à essayer et la direction du faisceau peuvent faire entre elles dans l'espace des angles quelconques suivant lesquels on peut les immobiliser. On peut ensuite faire tourner l'ensemble autour du sommet commun de cet angle.

L'appareil est fixé à l'extrémité du banc photométrique de 3 m et conçu de telle façon que le centre commun aux différents cercles soit placé sur l'axe général photométrique à l'exception du grand cercle dont le plan est déporté vers la gauche (fig. 5) de façon que l'axe du projecteur se trouve dans le plan vertical passant par l'axe de pivotement de l'appareil. Le projecteur et le plan du verre peuvent être rendus solidaires au moyen d'une bielle (fig. 7). Ce dispositif permet l'étude des indicatrices de diffusion en incidence normale, ou suivant un angle quelconque dans le plan vertical contenant le faisceau.

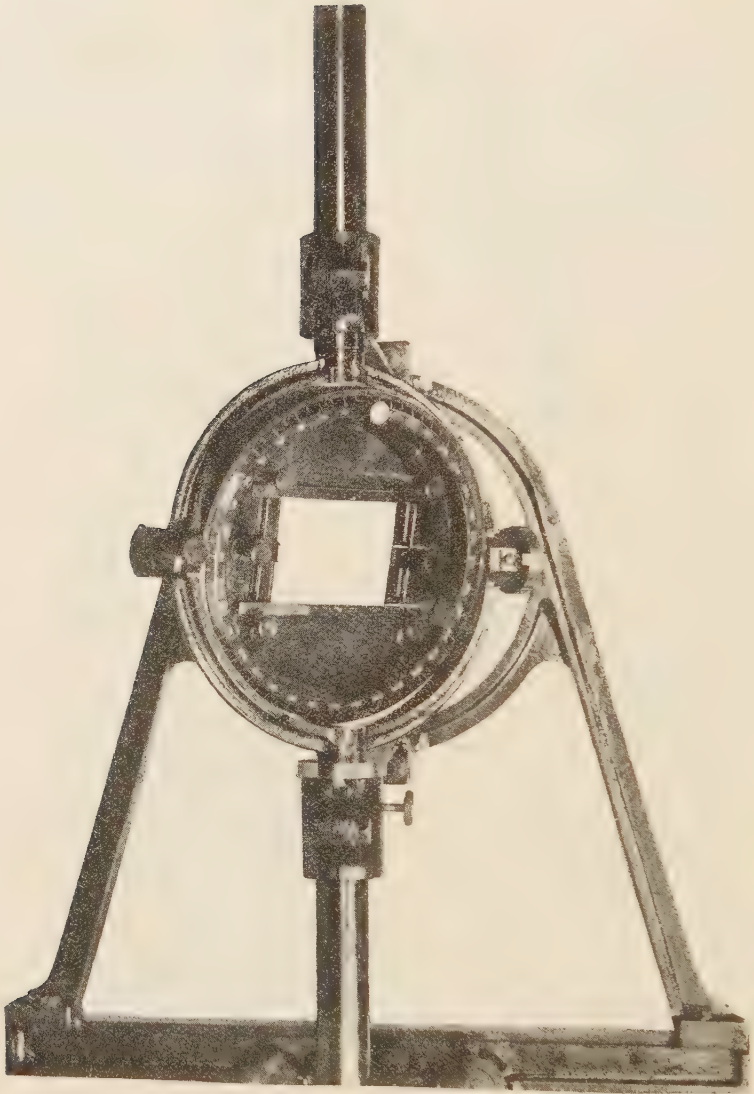


Fig. 8.

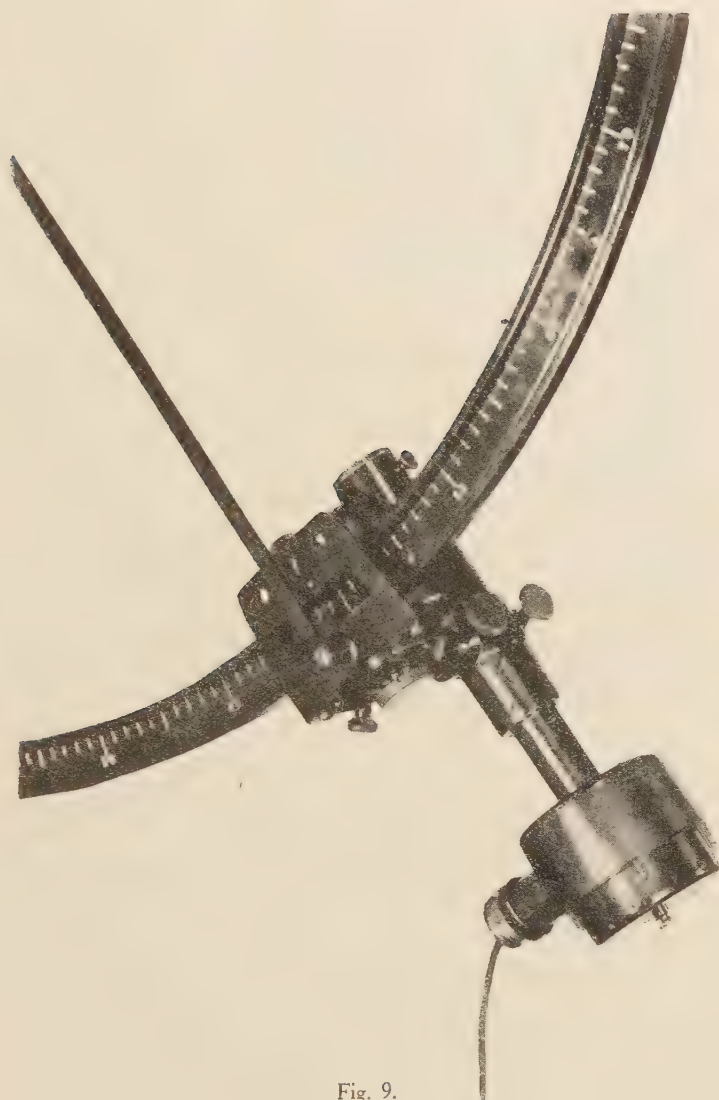


Fig. 9.  
Vue du projecteur à faisceau parallèle.

Les échantillons essayés sont plans et découpés suivant des dimensions rectangulaires de l'ordre de 4 à 5 cm de côté. L'échantillon est placé contre la plaque du porte-verre dans laquelle est ménagé un trou de 3 cm de diamètre (fig. 8). De cette façon, la brillance peut être facilement déterminée en partant de la connaissance de l'intensité lumineuse. La liberté du pivotement vertical est assurée par un montage à deux colliers à billes. Le projecteur est équipé au moyen d'une lampe à filament concentré et alimentée sous 30 volts 2,5 ampères. Son réglage par rapport à l'échantillon est fait au moyen d'un étrier qui permet son déplacement latéral et d'une rotule commandée par une vis à triple filet qui permet son pointage en direction (fig. 9).

NOTA. — Les figures 7 et 8 représentent l'appareil avec un échantillon de verre opalin rectangulaire mis en place.

## IV

### RÉSULTATS DES ESSAIS

---

Il nous a semblé intéressant, bien que la chose ne fut pas absolument nécessaire, de donner pour chacune des séries d'essais, les indicatrices de diffusion, en coordonnées polaires et rectangulaires ainsi que les graphiques dont il a été question plus haut, qui permettent de déterminer le coefficient de diffusion  $\tau$ . La comparaison de ces représentations diverses de la diffusion permet de se rendre compte que la représentation de la diffusion par rapport à une droite oblique correspondant à la diffusion parfaite donne l'idée la plus exacte du phénomène car les aires sont proportionnelles au flux lumineux et le classement des mérites des différents échantillons se fait d'un seul coup d'œil avec la plus grande facilité.

D'autre part, nous avons fait figurer les valeurs du coefficient  $\mu$  calculées en assimilant les indicatrices à des ellipses; l'expression de l'intensité lumineuse en fonction d'un exposant  $n$ , ne paraît pas devoir être retenue pour les verres diffusants, car elle conduit pour le coefficient  $\tau$  à des valeurs qui s'éloignent trop de la réalité.

#### A) VERRES CLAIRS DÉPOLIS A L'ACIDE ET AU SABLE.

##### a) *Influence du dépolissage.*

Nous nous sommes procuré des échantillons

# VERRES CLAIRS DÉPOLIS AU SABLE ET A L'ACIDE.

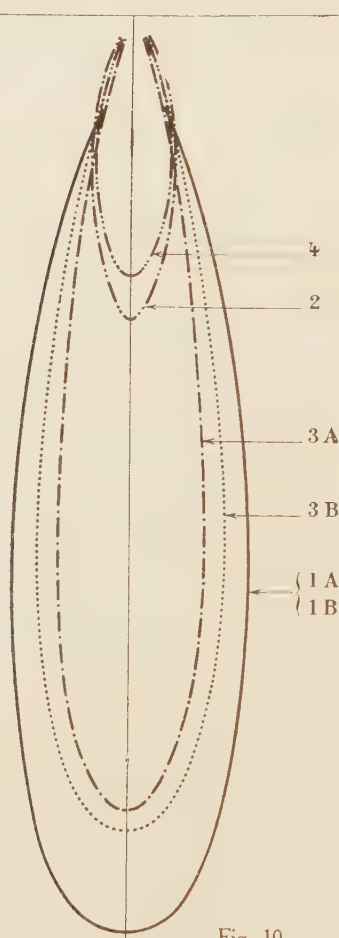


Fig. 10.

- 1) Verre dépoli à l'acide sur une face.
  - A) Côté lisse tourné vers le projecteur.
  - B) Côté dépoli tourné vers le projecteur.
- 2) Verre dépoli à l'acide sur les deux faces.
- 3) Verre dépoli au jet de sable sur une face.
  - A) Côté lisse tourné vers le projecteur.
  - B) Côté dépoli tourné vers le projecteur.
- 4) Verre dépoli au jet de sable sur les deux faces.

de verre clair qui furent dépolis au sable et à l'acide par les procédés ordinaires. Ces dépolissages furent effectués soit sur une seule face soit sur les deux faces.

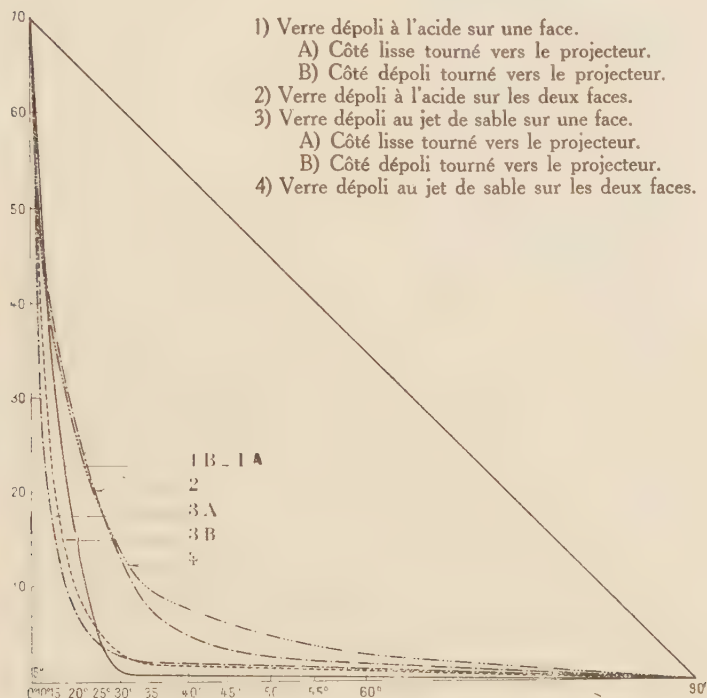
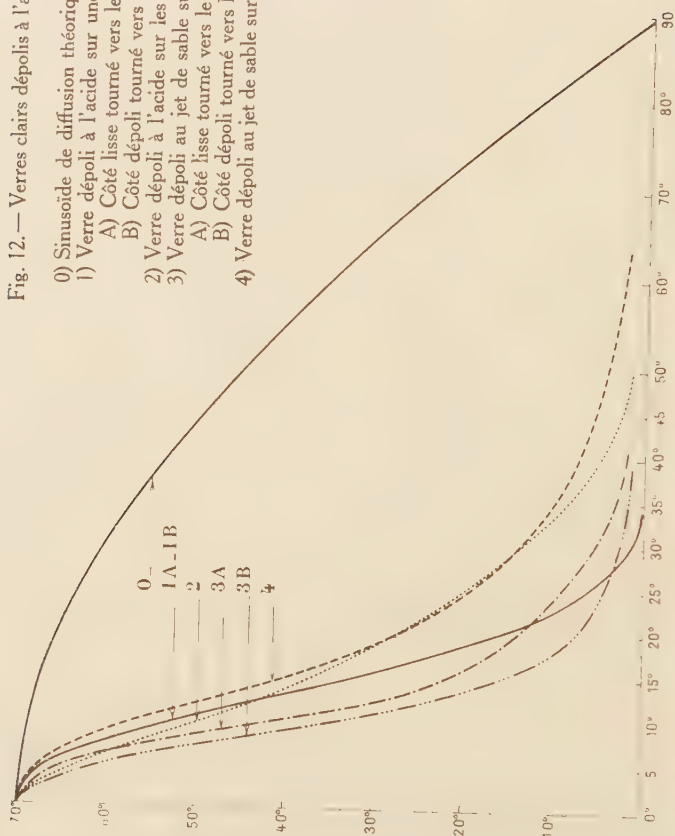


Fig. 11. — Détermination du coefficient  $\sigma$ .

On a tout d'abord remarqué que le dépolissage à l'acide procure une absorption nettement moindre que le dépolissage au sable (fig. 10). Dans le cas du dépolissage à l'acide, l'absorption est minimum lorsqu'on opère avec un verre dépoli

Fig. 12.— Verres clairs dépolis à l'acide et au sable.



- 0) Sinusoïde de diffusion théorique.  
 1) Verre dépoli à l'acide sur une face.  
     A) Côté lisse tourné vers le projecteur.  
     B) Côté dépoli tourné vers le projecteur.  
 2) Verre dépoli à l'acide sur les deux faces.  
 3) Verre dépoli au jet de sable sur une face.  
     A) Côté lisse tourné vers le projecteur.  
     B) Côté dépoli tourné vers le projecteur.  
 4) Verre dépoli au jet de sable sur les deux faces.

sur une seule face, sa valeur est d'ailleurs très approximativement la même lorsque le faisceau rencontre la face lisse ou la face dépolie.

Le dépolissage au sable sur une face donne, par contre, une absorption un peu plus élevée lorsque le côté lisse du verre est tourné vers la source lumineuse que lorsque le côté dépoli est tourné vers cette source. La différence est d'ailleurs assez faible.

Si on dépolit les deux faces au sable ou à l'acide, la transmission diminue d'une façon très importante dans les deux cas mais de façon plus importante dans le cas du dépolissage au sable.

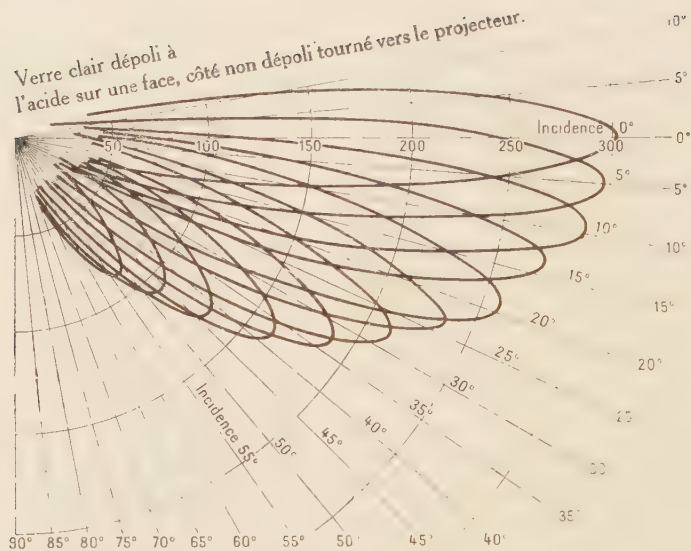
Le tableau I donne la variation du maximum suivant la nature du dépolissage et la position de l'échantillon. Les valeurs relatives sont rapportées à l'intensité maximum de l'échantillon dépoli à l'acide sur une face.

La figure 12 donne le tracé en coordonnées cartésiennes de l'indicatrice de diffusion et la figure 11 le tracé des courbes qui ont servi à déterminer le coefficient  $\tau$ . Ces courbes montrent encore nettement que la meilleure diffusion est obtenue avec le dépolissage au sable sur les deux faces et ensuite avec le dépolissage à l'acide sur les deux faces.

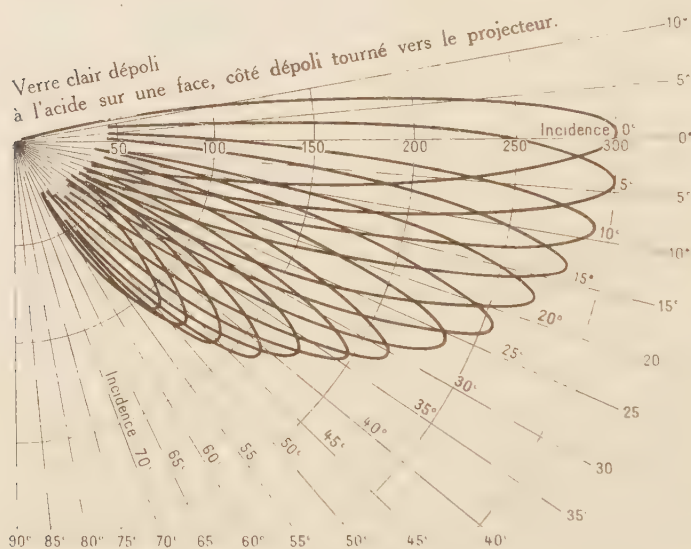
Pour une direction d'un faisceau incident s'écartant peu de la normale, le dépolissage au sable et à l'acide donnent des résultats très voisins.

On peut donc conclure dans le cas du verre clair que le dépolissage sur les deux faces donne une

Verre clair dépoli à l'acide sur une face, côté non dépoli tourné vers le projecteur.



Verre clair dépoli à l'acide sur une face, côté dépoli tourné vers le projecteur.



Influence de l'obliquité du faisceau sur les indicatrices du verre clair dépoli.

Fig. 13 et 14.

TABLEAU I  
VERRES CLAIRS DÉPOLIS

| Nature du verre.                           | Position de l'échantillon.   | Valeur de l'intensité maximum. |
|--------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Verre dépoli à l'acide sur une face.       | Côté dépoli vers projecteur. | 100 %                          |
|                                            | Côté lisse vers projecteur.  | 100 %                          |
| Verre dépoli au sable sur une face.        | Côté dépoli vers projecteur. | 89 %                           |
|                                            | Côté lisse vers projecteur.  | 87 %                           |
| Verre dépoli à l'acide sur les deux faces. |                              | 33 %                           |
| Verre dépoli au sable sur les deux faces.  |                              | 28,7 %                         |

meilleure diffusion mais au détriment du facteur de transmission. (Tableau II).

b) *Influence de l'obliquité du faisceau incident.*

L'étude de l'influence de l'obliquité du faisceau incident a été faite dans les deux cas suivants :

- 1<sup>o</sup>) faisceau dirigé vers le côté lisse ;
- 2<sup>o</sup>) faisceau dirigé vers le côté dépoli.

Ces essais ont montré que la direction du maximum d'intensité lumineuse était modifiée lorsque variait l'angle d'incidence des rayons, les courbes restant approximativement semblables à elles-

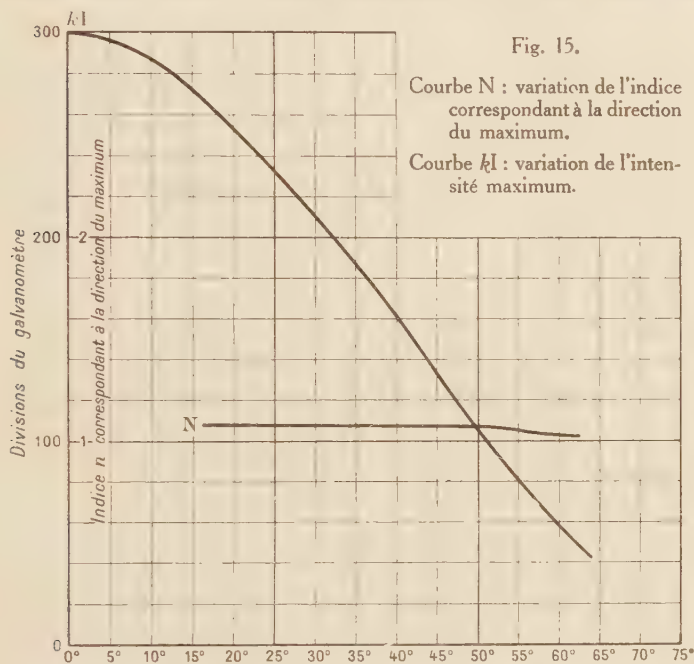
TABLEAU II  
VERRES CLAIRS DÉPOLIS  
DÉTERMINATION DU COEFFICIENT  $\sigma$

| Nature du verre.                           | Position de l'échantillon.   | $\sigma$ mesuré au planimètre. | Rapport des axes de l'ellipse. | $\sigma$ calculé. |
|--------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Verre dépoli à l'acide sur une face.       | Côté dépoli vers projecteur. | 0,092                          | 3,94                           | 0,191             |
|                                            | Côté lisse vers projecteur.  | 0,092                          | 3,94                           | 0,191             |
| Verre dépoli au sable sur une face.        | Côté dépoli vers projecteur. | 0,083                          | 4,78                           | 0,143             |
|                                            | Côté lisse vers projecteur.  | 0,073                          | 5,8                            | 0,112             |
| Verre dépoli à l'acide sur les deux faces. |                              | 0,172                          | 3,57                           | 0,218             |
| Verre dépoli au sable sur les deux faces.  |                              | 0,178                          | 3,31                           | 0,242             |

mêmes et l'intensité diminuant progressivement au fur et à mesure que le faisceau incident devenait plus oblique.

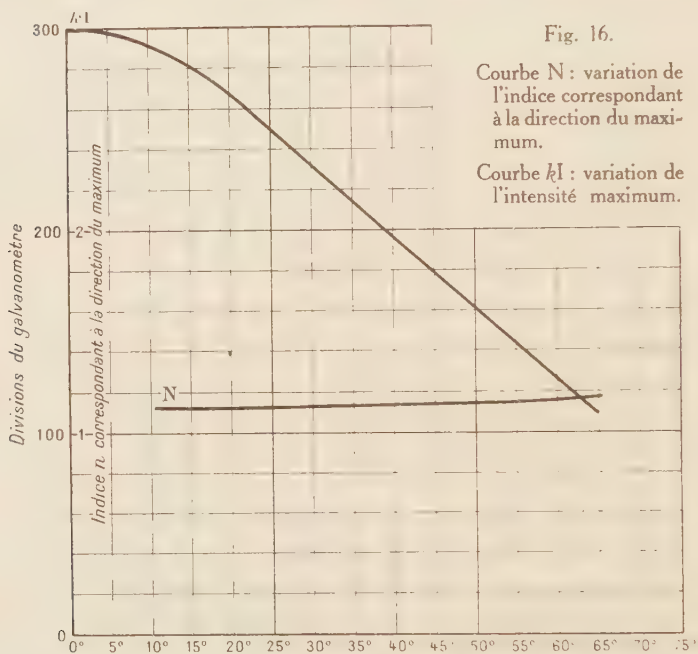
Lorsque le faisceau incident rencontre le côté lisse du verre (fig. 13), la direction de l'intensité lumineuse maximum reste très voisine de celle du faisceau incident. Si l'on représente par un indice analogue à l'indice de réfraction la relation qui existe entre l'angle d'incidence et l'angle de direction du maximum de l'indicatrice (fig. 15) on trouve que cet indice est très voisin de l'unité.

Lorsque le faisceau rencontre le côté dépoli (fig. 14) on constate, comme dans le cas précédent, une diminution progressive de l'intensité maximum du faisceau au fur et à mesure que l'obliquité augmente, diminution d'ailleurs moins rapide que dans le cas précédent. Si l'on trace la



courbe de variation de l'indice correspondant à la direction du maximum (fig. 16) on trouve que cet indice augmente avec l'incidence et atteint des valeurs de l'ordre de 1,2 pour des incidences supérieures à 65°. Ce fait se traduit physiquement par un changement de direction du maximum du

faisceau transmis qui se rapproche de plus en plus de la normale après avoir traversé l'échantillon; il est à remarquer qu'alors qu'on s'attendait à ce que la direction du maximum subisse une réfraction dans le cas où le faisceau incident rencontre d'abord le côté lisse du verre, c'est le con-



traire qui se produit et la réfraction est plus sensible lorsque le faisceau incident rencontre d'abord le côté dépoli.

Ce curieux phénomène a d'ailleurs été signalé par MM. DOURGNON et WAGUET (communication à l'Académie des Sciences du 21 Janvier 1931).

B) VERRE OPALIN A UNE COUCHE DÉPOLI A L'ACIDE  
ET AU SABLE.

a) *Influence du dépolissage.*

Nous nous sommes procuré des échantillons  
de verre opalin du type dit à une couche cons-

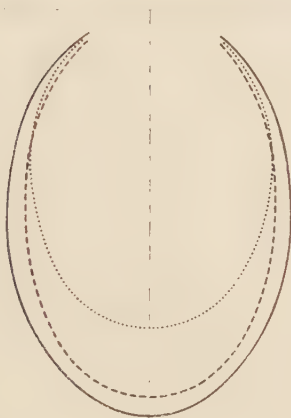


Fig. 17.

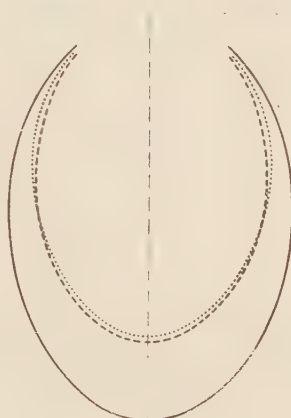


Fig. 18.

Faisceau rencontrant le côté opalin.

| A gauche                            | A droite                           |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| ——— Verre non dépoli.               | ——— Verre non dépoli.              |
| ----- Dépoli au sable, côté opalin. | ----- Dépoli au sable, côté clair. |
| ..... Dépoli acide, côté opalin.    | ..... Dépoli acide, côté clair.    |

titué d'une feuille de verre clair sur laquelle est  
étalée une fine couche de verre opalin.

On préleva dans la même plaque cinq échan-  
tillons de façon à obtenir des essais comparables.

L'un de ces échantillons fut essayé sans modi-  
fications, deux autres échantillons furent dépolis

au sable respectivement sur la face claire et sur la face opaline, enfin les deux derniers échantillons furent dépolis de même façon à l'acide.

De même que pour les verres clairs, on traça pour chacun de ces échantillons l'indicatrice de diffusion en incidence normale, les faces étant

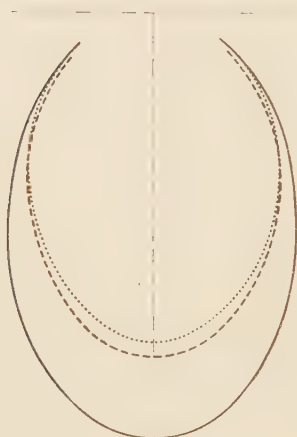


Fig. 19.

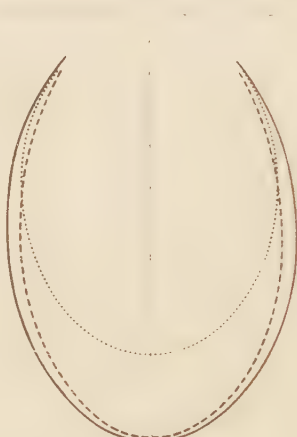


Fig. 20.

Faisceau rencontrant le côté transparent.

| A gauche                          | A droite                           |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| —— Verre non dépoli.              | —— Verre non dépoli.               |
| ---- Dépoli au sable, côté clair. | ---- Dépoli au sable, côté opalin. |
| ..... Dépoli acide, côté clair.   | ..... Dépoli acide, côté opalin.   |

présentées alternativement, au faisceau lumineux.

Comme précédemment on peut conclure des essais que le dépolissage au sable ou à l'acide sur l'une ou l'autre face ou simultanément sur les deux faces d'un verre opalin a pour résultat de diminuer l'intensité lumineuse du faisceau dans toutes les directions.

Dans le cas où le projecteur est dirigé du côté opalin et où le dépolissage est aussi effectué du même côté (fig. 17), le dépolissage au jet de sable donne des résultats supérieurs au dépolissage à l'acide relativement à l'intensité lumineuse.

En effet, le dépolissage au sable diminue seulement l'intensité suivant l'axe, d'environ 5 %, alors que le dépolissage à l'acide la diminue d'environ 23 %. Au contraire, si le dépolissage est effectué du côté non opalin, les deux systèmes de dépolissage sont à peu près équivalents et diminuent l'intensité lumineuse d'environ 20 % (fig. 18).

Lorsque le projecteur est dirigé du côté non opalin, et que les dépolissages à l'acide et au sable sont effectués du côté clair, la diminution (fig. 19) de l'intensité lumineuse est à peu près la même pour les deux procédés et de l'ordre de 20 %.

Il n'en est pas de même lorsque les dépolissages sont effectués du côté opalin. Dans ce cas, le dépolissage à l'acide donne une absorption supérieure à l'autre mode de dépolissage (fig. 20).

Afin de voir dans quelle mesure les différentes caractéristiques lumineuses varient par rapport à l'échantillon non dépoli, on a mesuré les rapports des flux transmis par les verres dépolis au flux transmis par l'échantillon non dépoli.

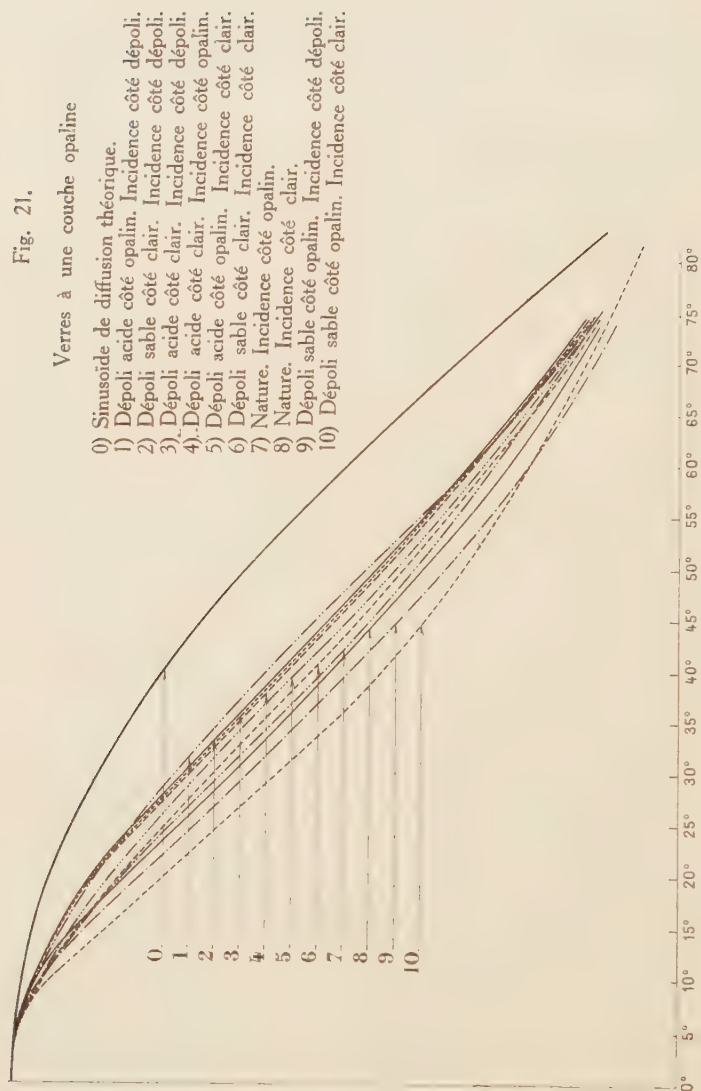
Les résultats trouvés relatifs à l'incidence normale sont résumés dans le tableau III.

Ces résultats sont donnés en fonction du flux transmis par l'échantillon non dépoli : 100 %.

Comme précédemment il nous a paru intéressant

Fig. 21.

Verres à une couche opaline



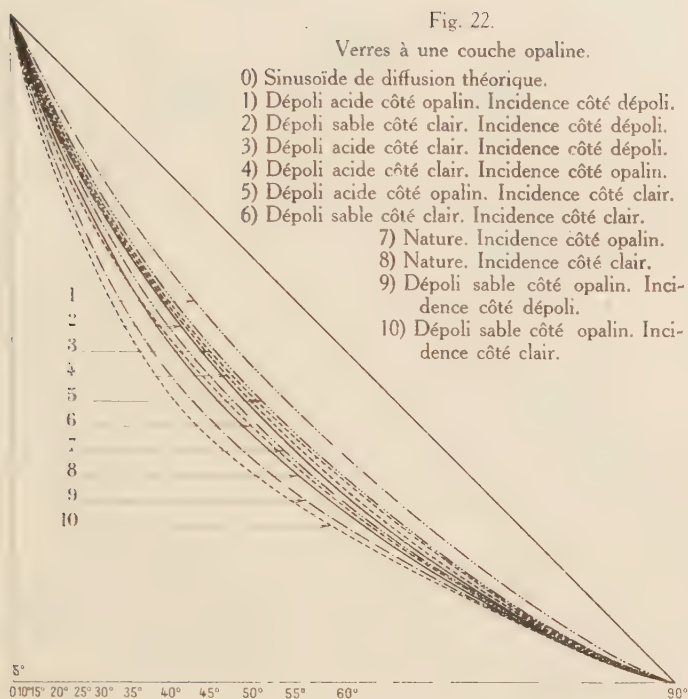


TABLEAU III  
VERRES A UNE COUCHE OPALINE

|                                                                    |                              |                                      |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Faisceau<br>rencontrant le côté<br>non opalin<br>de l'échantillon. | Dépolissage jet<br>de sable. | Côté clair 84,3 %<br>— opalin 82,8 % |
|                                                                    | Dépolissage à<br>l'acide.    | Côté clair 83,3 %<br>— opalin 80 %   |
| Faisceau<br>rencontrant le côté<br>opalin de<br>l'échantillon.     | Dépolissage jet<br>de sable. | Côté clair 77 %<br>— opalin 84 %     |
|                                                                    | Dépolissage à<br>l'acide.    | Côté clair 81,5 %<br>— opalin 86 %   |

TABLEAU IV  
VERRES A UNE COUCHE OPALINE  
DÉTERMINATION DU COEFFICIENT  $\sigma$

| Nature du verre.                                    | Position de l'échantillon.      | $\sigma$ mesuré<br>au planimètre. | Rapport<br>des axes de<br>l'ellipse. | $\sigma$ calculé. | $\frac{\sigma'}{\sigma}$ |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| Verre opalin<br>lisse.                              | Côté clair<br>vers projecteur.  | 0,64                              | 1,47                                 | 0,664             | 1,04                     |
|                                                     | Côté opalin<br>vers projecteur. | 0,65                              | 1,45                                 | 0,677             | 1,04                     |
|                                                     | Côté lisse<br>vers projecteur.  | 0,575                             | 1,38                                 | 0,714             | 1,24                     |
| Verre opalin<br>dépoli jet de<br>sable côté opalin. | Côté dépoli<br>vers projecteur. | 0,595                             | 1,63                                 | 0,611             | 1,025                    |
|                                                     | Côté opalin<br>vers projecteur. | 0,645                             | 1,41                                 | 0,69              | 1,07                     |
|                                                     | Côté dépoli<br>vers projecteur. | 0,685                             | 1,35                                 | 0,748             | 1,092                    |
| Verre opalin<br>dépoli acide<br>côté opalin.        | Côté clair<br>vers projecteur.  | 0,717                             | 1,30                                 | 0,751             | 1,05                     |
|                                                     | Côté dépoli<br>vers projecteur. | 0,770                             | 1,30                                 | 0,751             | 0,975                    |
|                                                     | Côté opalin<br>vers projecteur. | 0,695                             | 1,42                                 | 0,700             | 1,01                     |
| Verre opalin<br>dépoli acide<br>côté clair.         | Côté dépoli<br>vers projecteur. | 0,710                             | 1,31                                 | 0,77              | 1,085                    |

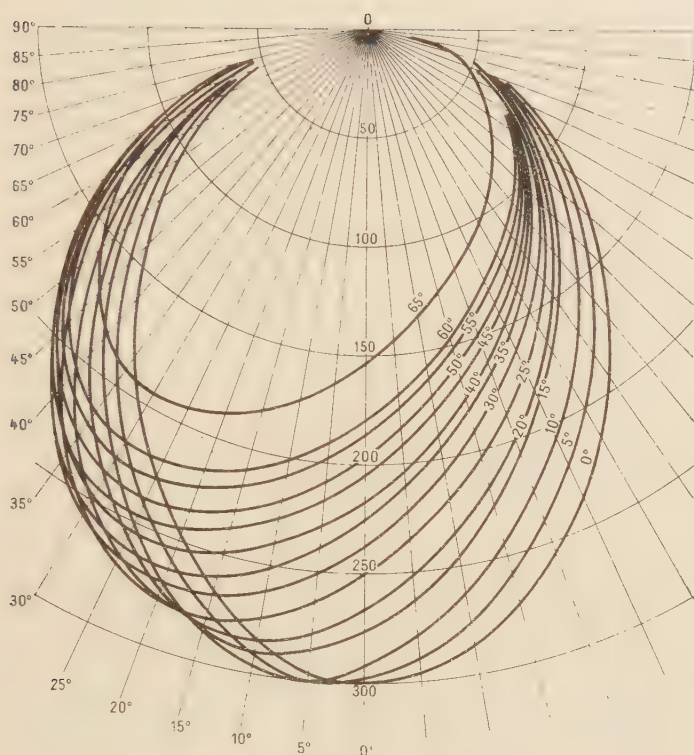


Fig. 23. — Indicatrice de diffusion d'un verre opalin à une couche.  
Côté opalin tourné vers le projecteur.

de tracer (fig. 21) les courbes des indicatrices de diffusion en coordonnées cartésiennes de façon à pouvoir comparer les mérites de diffusion des différents types de dépolissages suivant le côté tourné vers le faisceau lumineux. Nous avons tracé à cet effet les indicatrices pour des angles d'incidence croissant de cinq à cinq degrés avec la normale.

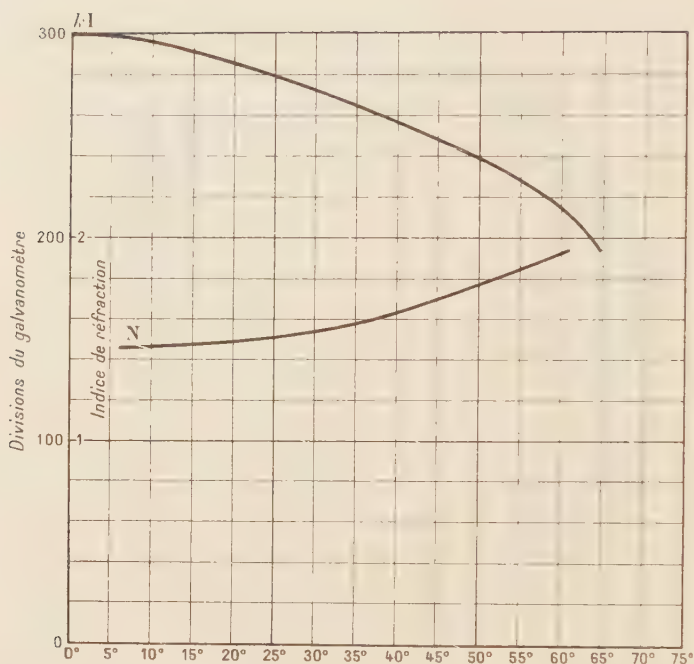


Fig. 24. — Verre opalin à une couche. Côté opalin tourné vers le projecteur.  
 Courbe N : variation de l'indice correspondant à la direction du maximum.  
 Courbe  $hI$  : variation de l'intensité maximum.

Nous avons trouvé que la meilleure diffusion est obtenue pour l'échantillon dépoli à l'acide du côté opalin et recevant le faisceau sur sa face dépolie.

La diffusion la moins bonne est obtenue pour le verre dépoli au jet de sable du côté opalin et le côté clair tourné vers le projecteur.

Les coefficients  $\sigma$  calculés et mesurés sont très voisins ; les courbes peuvent donc sans erreur sensible être assimilées à des ellipses quelle que

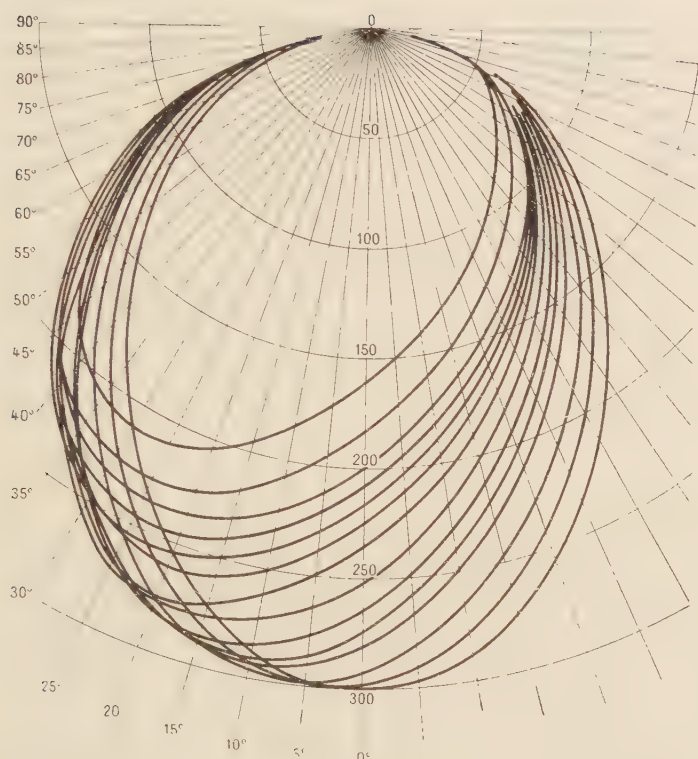


Fig. 25. — Indicatrice de diffusion d'un verre opalin à une couche.  
Côté clair tourné vers le projecteur.

soit la nature du dépolissage (fig. 22). (Tableau IV). Car on voit dans ce tableau que les valeurs de  $\tau$  et  $\tau'$  des rapports mesurés et calculés sont très voisins.

b) *Influence de l'obliquité du faisceau incident.*

De même que pour les verres clairs, nous avons étudié la déformation de l'indicatrice de diffusion

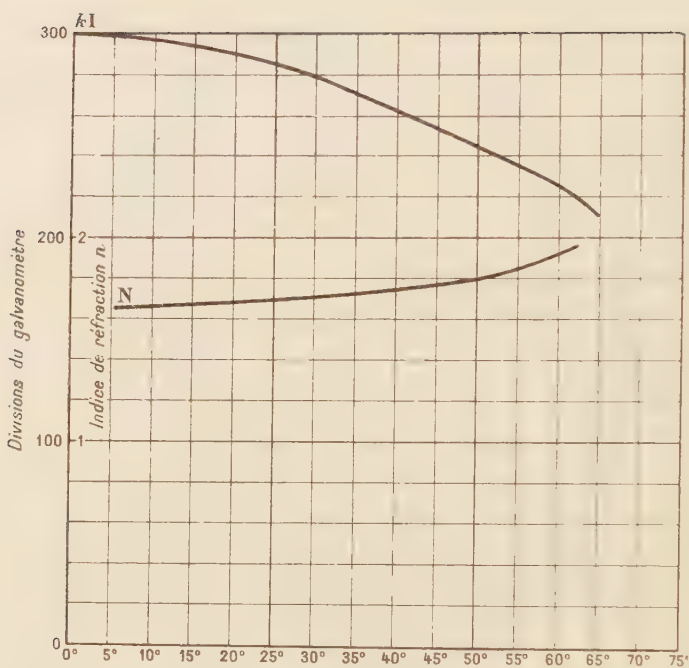


Fig. 26. — Verre opalin à une couche. Côté clair tourné vers le projecteur.  
 Courbe N : variation de l'indice correspondant à la direction du maximum.  
 Courbe  $kl$  : variation de l'intensité maximum.

pour les différents angles du faisceau incident. A l'encontre de ce qui se passe pour le verre clair, l'indicatrice ne reste pas symétrique par rapport à la direction du maximum, mais se déforme de plus en plus à mesure que l'obliquité augmente. Les réseaux des courbes présentent à peu près la même forme (fig. 23 et 25) que le côté opalin ou le côté opposé soient tournés vers le projecteur.

Comme pour les verres clairs, on étudia la

variation de l'indice correspondant à la direction du maximum (fig. 24 et 26). Ce maximum est moins bien défini que dans le cas précédent, et l'angle de direction du maximum est plus difficile à évaluer. Il existe par suite une légère incertitude de détermination.

Néanmoins, les résultats obtenus montrent clairement que l'indice de réfraction correspondant à la direction du maximum augmente avec l'obliquité du faisceau et ceci dans les deux cas d'orientation du verre.

### C) VERRES OPALINS MASSIFS DÉPOLIS AU SABLE ET A L'ACIDE.

#### a) *Influence du dépolissage.*

Quatre échantillons furent prélevés dans un même plan de verre opalin massif d'environ 2 mm. d'épaisseur, deux d'entre eux furent dépolis sur une des faces ; l'un au jet de sable, l'autre à l'acide, et le troisième fut dépoli au sable sur les deux faces. Pour chacun des trois échantillons dépolis on traça l'indicatrice de diffusion en incidence normale (fig. 27) ; pour les deux échantillons dépolis sur une seule face on traça les deux indicatrices qui correspondent chacune à l'éclairage d'une des faces. Nous avons trouvé que pour les verres opalins massifs le dépolissage augmente en général la transmission à l'encontre de ce qui se passe pour les verres opalins à une couche et pour les verres clairs.

Afin de voir comment les caractéristiques sont

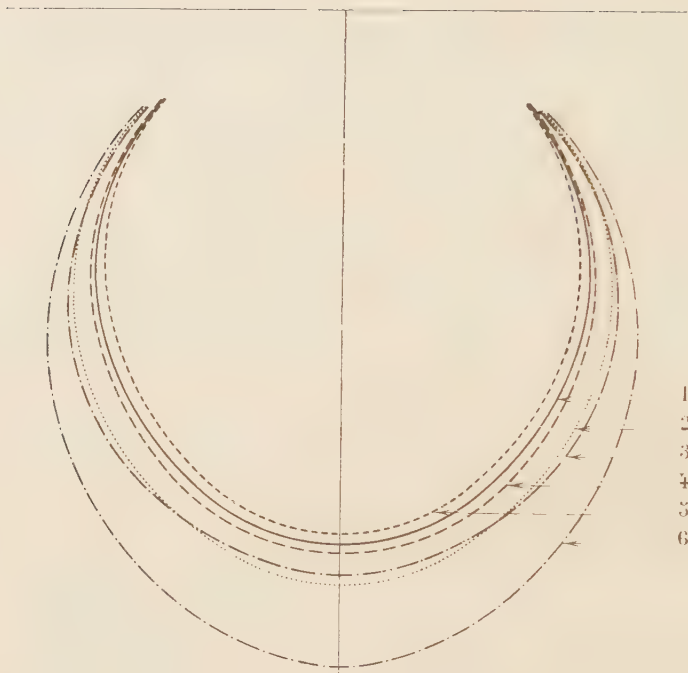


Fig. 27. — Verre opalin massif.

- 1) Nature.
- 2) Dépoli au jet de sable. Incidence vers côté lisse.
- 3) " " " " " " " " dépoli.
- 4) " à l'acide. " " " " lisse.
- 5) " " " " " " " " dépoli.
- 6) " au sable sur les deux faces.

affectées par les différentes natures de dépolissage et l'influence de la face qui reçoit le faisceau, on traça les indicatrices en coordonnées cartésiennes en les rapportant au même maximum

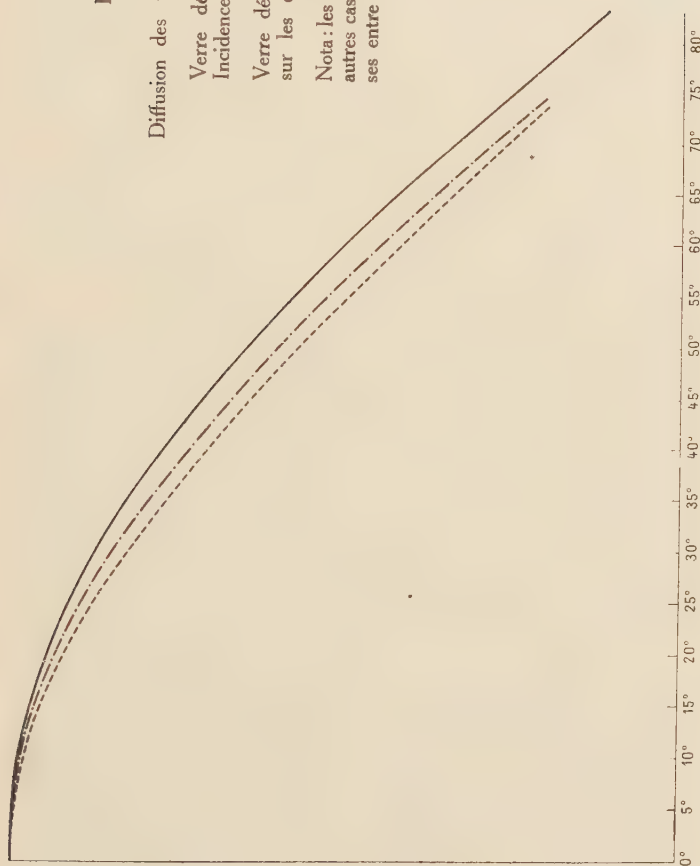
Fig. 28.

Diffusion des verres opalins massifs.

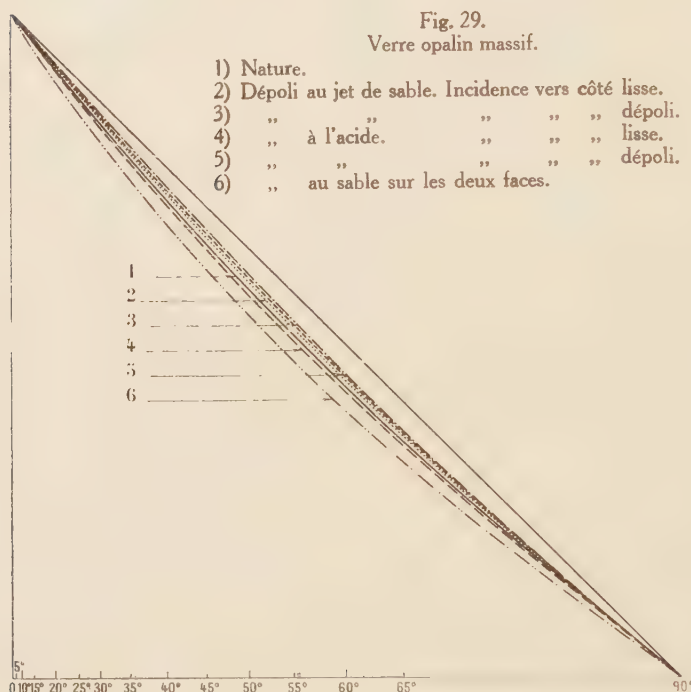
Verre dépoli au jet de sable.  
Incidence vers côté dépoli. ---

Verre dépoli au jet de sable  
sur les deux faces ———

Nota : les courbes représentant les  
autres cas envisagés sont compri-  
ses entre les deux précédentes.



(fig. 28). Ces indicatrices sont très voisines de la sinusoïde de diffusion théorique et présentent toutes un profil analogue.



Le dépolissage ne modifie donc pas pour ainsi dire la diffusion de ce type de verre.

Nous avons calculé le flux transmis dans le cas du dépolissage au sable afin de comparer ce flux à celui transmis par l'échantillon non dépoli.

Les résultats trouvés sont résumés dans le tableau V.

TABLEAU V  
VERRES OPALINS MASSIFS

| Nature du verre                       | Position<br>de l'échantillon    | Rapport des flux transmis<br>par les échantillons<br>dépolis au flux transmis<br>par l'échantillon nature. |
|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Echantillon nature.                   |                                 | 100 %                                                                                                      |
| Echantillon dépoli<br>sur une face.   | Côté dépoli<br>vers projecteur. | 106,8 %                                                                                                    |
|                                       | Côté lisse<br>vers projecteur.  | 107,5 %                                                                                                    |
| Echantillon dépoli<br>sur deux faces. |                                 | 116,5 %                                                                                                    |

En ce qui concerne la détermination du coefficient  $\tau$  (fig. 29), on voit que dans ce cas encore il est justifié d'assimiler la courbe à une ellipse dont le rapport des axes est très voisin de 1.

Comme on pouvait s'y attendre par un simple examen, ces verres sont les meilleurs diffuseurs. La diffusion la plus favorable est fournie par le verre opalin massif dépoli au jet de sable le côté dépoli étant tourné vers le projecteur (Tableau VI).

*b) Influence de l'obliquité du faisceau.*

Comme pour les verres précédents, nous avons étudié l'influence de l'obliquité du faisceau sur la direction du maximum (fig. 30). L'augmentation de l'obliquité du faisceau a pour résultat de diminuer très légèrement le flux transmis, mais

TABLEAU VI  
VERRES OPALINS MASSIFS  
DÉTERMINATION DU COEFFICIENT  $\sigma$

| Nature du verre.                                              | Position de l'échantillon.      | $\sigma$ mesuré<br>au planimètre. | Rapport<br>des axes de<br>l'ellipse. | $\sigma$ calculé. | $\frac{\sigma'}{\sigma}$ |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| Verre opalin<br>nature.                                       |                                 | 0,942                             | 1,068                                | 0,942             | 1,00                     |
| Verre opalin<br>dépoli jet de<br>sable.                       | Côté lisse<br>vers projecteur.  | 0,933                             | 1,13                                 | 0,877             | 0,94                     |
|                                                               | Côté dépoli<br>vers projecteur. | 0,946                             | 1,03                                 | 0,988             | 1,045                    |
| Verre opalin<br>dépoli acide.                                 | Côté lisse<br>vers projecteur.  | 0,908                             | 1,06                                 | 0,895             | 0,985                    |
|                                                               | Côté dépoli<br>vers projecteur. | 0,940                             | 1,09                                 | 0,908             | 0,965                    |
| Verre opalin<br>dépoli jet de<br>sable sur les<br>deux faces. |                                 | 0,870                             | 1,12                                 | 0,530             | 0,61                     |

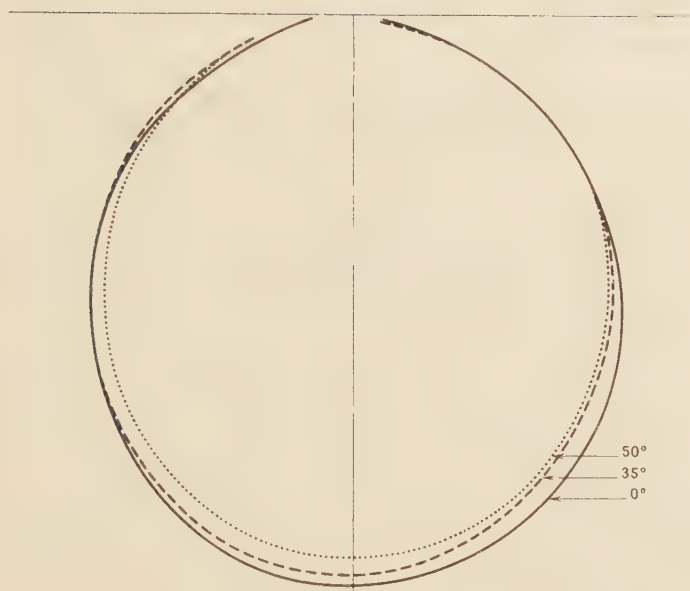
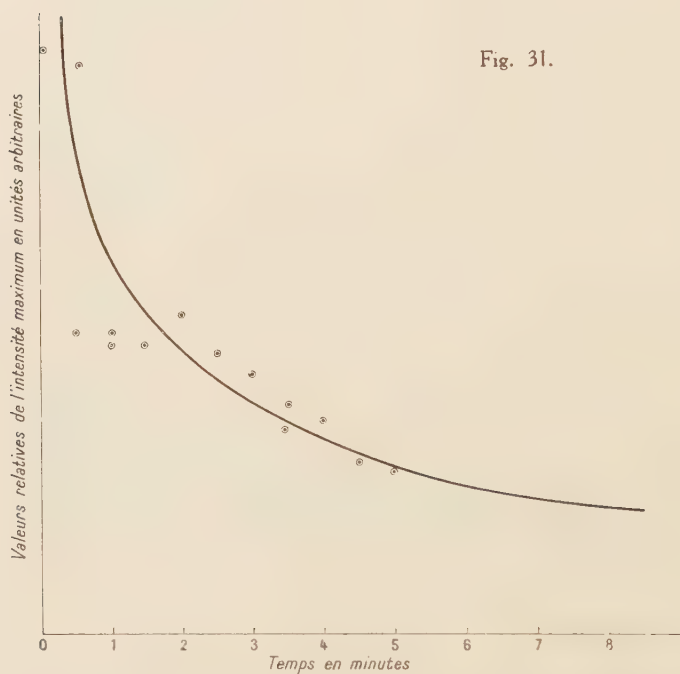


Fig. 30. — Influence de l'obliquité du faisceau sur les verres opalins massifs non dépolis.

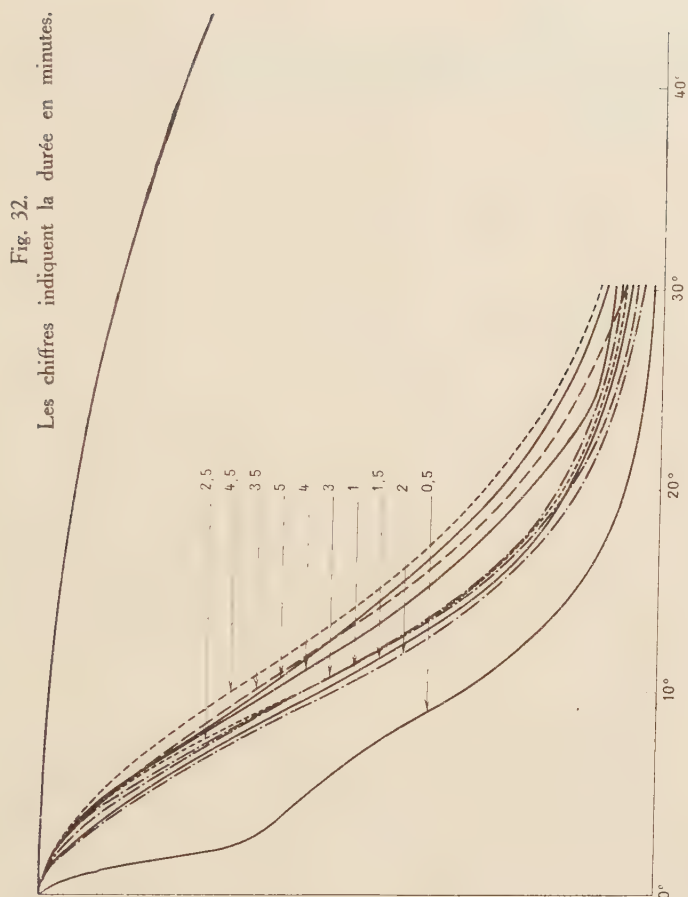
ne semble pas modifier la forme de l'indicatrice de diffusion qui reste très voisine du cercle montrant ainsi que ce type de verre semble devoir être choisi de préférence lorsqu'on veut se rapprocher le plus possible des conditions de diffusion parfaite.

## INFLUENCE DE LA DURÉE DE DÉPOLISSAGE DU VERRE CLAIR

### A) INFLUENCE DE LA DURÉE DU DÉPOLISSAGE A L'ACIDE SUR DES PLAQUES EN VERRE CLAIR.



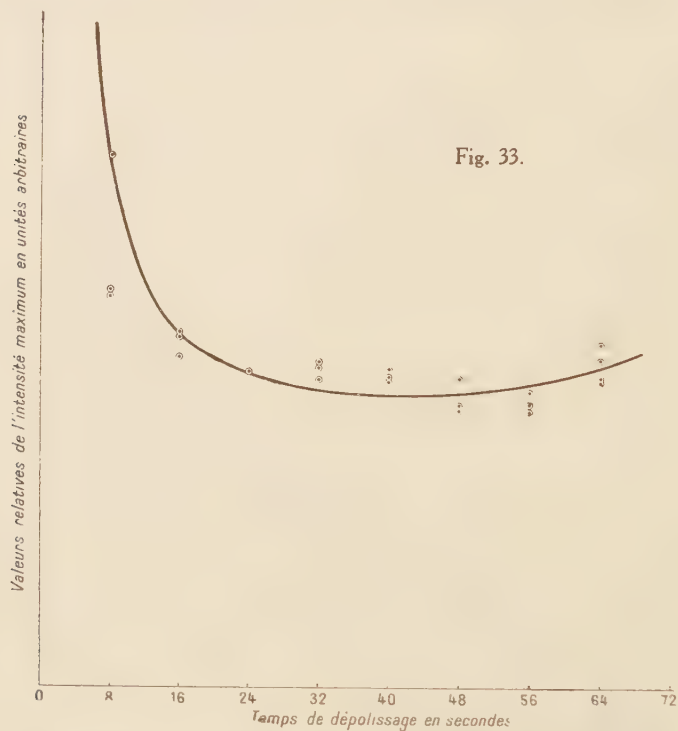
Dans le but de mettre en évidence l'influence de la durée de passage au bain du dépolissage du verre clair, nous nous sommes procuré dix échan-



tillons provenant d'une même plaque de verre, de façon à obtenir des résultats comparables.

Ces dix échantillons furent dépolis au bain acide sur les deux faces. La durée de dépolissage fut augmentée progressivement de 30 en 30 se-

condes du premier au dernier échantillon, le premier ayant seulement subi une attaque de 30 secondes et le dernier une attaque de 5 minutes.



Les résultats obtenus montrent (fig. 31) que l'intensité maximum transmise décroît rapidement au fur et à mesure que la durée du dépolissage augmente. L'aspect de la courbe montre, que pour un verre suffisamment épais, il y a intérêt à pousser le dépolissage jusqu'à une certaine limite qu'il faudrait déterminer expérimentalement pour

chaque espèce de verre et chaque composition de bain acide utilisées. Comme on pouvait s'y attendre, la diffusion augmente avec la durée du dépolissage (fig. 32. Les chiffres indiquent des durées en minutes).

#### B) INFLUENCE DE LA DURÉE DU DÉPOLISSAGE AU SABLE.

Des essais analogues furent effectués pour le dépolissage au sable ; les échantillons provenant d'une même plaque furent soumis à des durées de dépolissage décroissantes jusqu'à 64 secondes. De même que pour le dépolissage à l'acide, on trouva que l'intensité maximum diminue progressivement et atteint une valeur sensiblement constante au bout d'environ 24 secondes ; il semble ensuite, qu'à partir de 56 secondes la valeur de l'intensité maximum ait tendance à croître de nouveau (fig. 33).

La vitesse de dépolissage devant aussi dépendre de la pression et de la nature du verre, nous avons l'intention d'effectuer des essais avec des échantillons différents et des pressions d'air différentes pour les durées de dépolissage constantes.

## V

### RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

---

En résumé, nous avons mis au point un appareil et un dispositif comportant l'emploi d'une cellule photoélectrique au potassium qui permettent de tracer très rapidement et avec une exactitude plus grande que ne le permet la photométrie visuelle les indicatrices de diffusion des échantillons de verres diffusants plans.

Nous avons effectué au moyen de cet appareil et du dispositif décrit le tracé de nombreuses indicatrices :

1<sup>o</sup>) Sur des échantillons de verre clair dépoli à l'acide et au sable, le faisceau incident étant reçu successivement par la face claire et par la face dépolie ;

2<sup>o</sup>) Sur des verres opalins à une couche traités de façon analogue et essayés dans les mêmes conditions ;

3<sup>o</sup>) Sur des verres opalins massifs traités et essayés dans les mêmes conditions que les échantillons précédents.

Ces mesures ont été effectuées pour les différents types de verre, d'abord en lumière parallèle normale au plan du verre, et ensuite en lumière parallèle oblique sous différents angles d'incidence. Les essais ont montré, pour les différents dépolis-

sages, quelles conditions procuraient la meilleure diffusion et l'absorption minimum pour le type de verre considéré.

D'autre part, ils ont permis de montrer que :

1<sup>o</sup>) a) Pour les verres clairs, le maximum de l'indicatrice voit sa direction modifiée dans d'assez larges proportions au fur et à mesure que l'incidence augmente. Ce changement peut se chiffrer au moyen d'un indice analogue à l'indice de réfraction, indice qui varie suivant la face qui reçoit le faisceau lumineux ;

b) pour les verres opalins à une couche, le changement de direction du maximum dû à la modification d'incidence du faisceau est plus notable, mais la diffusion reste néanmoins meilleure, les courbes étant plus arrondies ;

c) pour les verres opalins massifs, le changement d'incidence du faisceau n'amène pas de modification notable dans la forme de l'indicatrice et par suite dans la diffusion.

2<sup>o</sup>) La meilleure diffusion est obtenue en utilisant les verres opalins massifs ; les autres types de verre seront donc à proscrire pour la confection d'écrans diffusants de photomètres ou de sphères intégratrices.

On utilisera de préférence dans ce but du verre opalin massif dépoli au jet de sable, le côté dépoli étant tourné vers la source lumineuse.

3<sup>o</sup>) La durée de dépolissage au sable ou à l'acide a une grande importance sur la diffusion ; il y aurait lieu de rechercher pour un échantillon de verre donné, ainsi que pour une pression d'air

donnée (s'il s'agit du dépolissage au sable) ou une composition de bain donnée (s'il s'agit de dépolissage à l'acide), le temps d'attaque optimum qui sera susceptible de donner les meilleurs résultats suivant l'emploi que l'on fera du verre étudié.

Enfin, nous avons vérifié que le coefficient  $\tau$  du Dr. HALBERTSMA donne une indication globale très précieuse sur les qualités de diffusion des échantillons de verre.

D'autre part, il ne paraît pas justifié d'assimiler à des ellipses les indicatrices de verre clair dépoli au sable ou à l'acide mais il semble au contraire qu'on puisse assimiler à des ellipses, avec une approximation très suffisante, les indicatrices des verres opalins massifs et plaqués, ce qui peut être d'une grande utilité pour les calculs d'éclairage relatifs à des installations réalisées au moyen de ces verres.

---

## BIBLIOGRAPHIE

- STEINMETZ. — Radiation-light and illumination.
- John W. T. WALSH. — Photometry.
- Hermann BOHLE. — Electrical photometry and illumination.
- JOLLEY, WALDRAM, WILSON. — The theory and design of illuminating engineering equipment.
- S. ENGLISH. — Journal of good lighting. The manufacture and properties of glass and their application in illuminating engineering. Vol. 21 — pages 105 - 133 - 154.
- P. WAGUET et J. DOURGNON. — Le verre opalin et ses propriétés sélectives. « Lux », Février et Mars 1930.
- BOUTARIC. — « Thèse de Doctorat », Paris 1918, p. 82.
- FABRY. — Introduction générale à la photométrie.
- MASCART. — « Traité d'optique », tome III, p. 209.
- BOUASSE. — « Vision et reproduction des formes et des couleurs », p. 207.
- Y. ROCARD et Ph. de ROTHSCHILD. — Diffusion de la lumière et visibilité. Application aux projecteurs. « Revue d'Optique », Septembre 1927.
- C. CHWOLSON. — « Journal de Physique » (2), t. VII, p. 229, 1888.
- MM. C. CHENEVEAU et R. AUDUBERT. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 14 Avril 1918, 17 Mars 1919, 31 Mars 1919, 22 Mars 1920.
- Dr. N. A. HALBERTSMA. — Elektrotechnik und Maschinenbau, 19 Mai 1918. Die Streuung des Lichtes und ihre Kennzeichnung.

- Dr. RICH. HIECKE. — Elektrotechnik und Maschinenbau, cahier 13, 1930.
- MIE. — « Annalen der Physik », 1908, Band 25. Beiträge zur Optik trüber Medien speziell kolloidaler Metallösungen.
- PIRANI et SCHÖNBORN. — Ueber den Lichtverlust in mattierten Gläsern. « Licht und Lampe », 1926, cahier 14.
- Dr. H. SCHULZ. — Ueber die Lichtzerstreuung der Gläsern und ihre Messung. « Glastechnische Berichte », année 1926, Cahier 3.
- Dr. M. PIRANI et Dr. H. SCHÖNBORN. — Klassifikation lichtstreuender Gläser. Rapport présenté à la Société des Techniciens du Verre.
- Dr. Emil LIEBENTHAL. — Praktische Photometrie.
- Dr. Ing. L. BLOCH. — Durchlassung und Rückstrahlung. Zeischrift für Beleuchtungswesen, Sept. 1921.
- Robert BOKER. — Lichtstreuende Gläser. Zeitschrift für Beleuchtungswesen, Juin 1920.
- Dr. Gerhard SCHOTT. — Herstellung und Eigenschaften lichtzerstreuender Gläser. « Licht und Lampe », 1925.
- PIRANI et H. SCHÖNBORN. — Experimentelle Studien über die optischen Eigenschaften stark getrübler Medien. « Licht und Lampe », 1928, cahiers 5 et 6.
- H. SAUER. — Beiträge zur Trübungsmessung Zeitschrift für technische Physik, 1931, n° 3.

Vu et approuvé :  
Caen, le 21 Janvier 1932.  
*Le Doyen de la Faculté des Sciences,*  
BLANC.

Vu et permis d'imprimer :  
Caen, le 21 Janvier 1932.  
*Le Recteur de l'Académie de Caen,*  
L. MAIGRON.

## SECONDE THÈSE

---

Propositions données par la Faculté

# **Le rayonnement** **par** **incandescence du Tungstène**

---

Vu et approuvé :

Caen, le 21 Janvier 1932.

*Le Doyen de la Faculté des Sciences,*  
BLANC.

Vu et permis d'imprimer :

Caen, le 21 Janvier 1932.

*Le Recteur de l'Académie de Caen,*  
L. MAIGRON.



